

# GEODIVERSIDADE DO ESTADO DE MINAS GERAIS

PROGRAMA GEOLOGIA DO BRASIL  
LEVANTAMENTOS DA GEODIVERSIDADE



2010







# **GEODIVERSIDADE DO ESTADO DE MINAS GERAIS**

PROGRAMA GEOLOGIA DO BRASIL  
LEVANTAMENTO DA GEODIVERSIDADE

**CASA CIVIL DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA**

Ministra-Chefe Dilma Rousseff

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**

**SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO  
E TRANSFORMAÇÃO MINERAL**

**MINISTRO DE ESTADO**

Edison Lobão

**SECRETÁRIO EXECUTIVO**

Márcio Pereira Zimmermann

**SECRETÁRIO DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO  
E TRANSFORMAÇÃO MINERAL**

Cláudio Scliar

**CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL**

**CONSELHO DE ADMINISTRAÇÃO**

**Presidente**

Giles Carriconde Azevedo

**Vice-Presidente**

Agamenon Sergio Lucas Dantas

**Conselheiros**

Benjamim Bley de Brito Neves

Claudio Scliar

Luiz Gonzaga Baião

Jarbas Raimundo de Aldano Matos

**DIRETORIA EXECUTIVA**

**Diretor-Presidente**

Agamenon Sergio Lucas Dantas

**Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial**

José Ribeiro Mendes

**Diretor de Geologia e Recursos Minerais**

Manoel Barretto da Rocha Neto

**Diretor de Relações Institucionais e Desenvolvimento**

Fernando Pereira de Carvalho

**Diretor de Administração e Finanças**

Eduardo Santa Helena da Silva

**SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE BELO HORIZONTE**

**Superintendente**

Marco Antônio Fonseca

**Gerência de Hidrologia e Gestão Territorial**

Márcio de Oliveira Cândido

**Supervisão de Gestão Territorial**

Haroldo Santos Viana

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA  
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL  
CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL

# **GEODIVERSIDADE DO ESTADO DE MINAS GERAIS**

PROGRAMA GEOLOGIA DO BRASIL  
LEVANTAMENTO DA GEODIVERSIDADE

## **ORGANIZAÇÃO**

Marcelly Ferreira Machado  
Sandra Fernandes da Silva

Belo Horizonte, Brasil

2010

## CRÉDITOS TÉCNICOS

### LEVANTAMENTO DA GEODIVERSIDADE DO ESTADO DE MINAS GERAIS

#### COORDENAÇÃO NACIONAL

**Departamento de Gestão Territorial**  
Cassio Roberto da Silva

#### Coordenação de Geoprocessamento e da Base de Dados de Geodiversidade

Maria Angélica Barreto Ramos  
Maria Adelaide Mansini Maia

#### Execução Técnica

Marcely Ferreira Machado  
Sandra Fernandes da Silva

#### Organização do Relatório Geodiversidade do Estado de Minas Gerais

Marcely Ferreira Machado  
Sandra Fernandes da Silva

#### Sistema de Informação Geográfica e Leiute do Mapa

Marcely Ferreira Machado  
Sandra Fernandes da Silva  
Cátia Cristina Espósito (estagiária)  
Roberta Borges Parreira (estagiária)

#### Apoio Banco de Dados, SIG e Desenvolvimento da Base Geodiversidade Divisão de Geoprocessamento (DIGEOP)

João Henrique Gonçalves  
Antônio Rabello Sampaio  
Leonardo Brandão Araújo  
Eliás Bernard da Silva do Espírito Santo  
Patrícia Düringer Jacques  
Gabriela Figueiredo de Castro Simão

#### Colaboração

Ângela Maria de Godoy Theodorovicz  
Antonio Theodorovicz  
Edgar Shinzato  
Jorge Pimentel  
Léo Teixeira  
Marcelo Eduardo Dantas  
Marcelo Esteves de Almeida  
Maria Adelaide Mansini Maia  
Mônica Mazzini Perrotta  
Nelize Lima dos Santos (estagiária)  
Pedro Augusto dos Santos Pfaltzgraf  
Regina Célia Gimenez Armesto  
Valter José Marques  
Wilson Wildner

#### Revisão Técnica

Cassio Roberto da Silva (Texto)  
Marco Antônio Fonseca (Mapa)

#### Revisão Linguística

André Luís de Oliveira Mendonça

#### Projeto Gráfico/Editoração/Multimídia

#### Departamento de Relações Institucionais (DERID)/ Divisão de Marketing e Divulgação (DIMARK) (padrão capa/embalagem)

Ernesto von Sperling  
José Marcio Henriques Soares  
Traço Leal Comunicação

#### Departamento de Apoio Técnico (DEPAT)

#### Divisão de Editoração (DIEDIG) (projeto de editoração/diagramação)

Valter de Alvarenga Barradas  
Andréia Amado Continentino  
Agmar Alves Lopes

#### (supervisão de editoração)

Andréia Amado Continentino

#### Editoração Relatório Geodiversidade do Estado de Minas Gerais (editoração texto)

Mares Design

#### Superintendência Regional de Manaus (SUREG-MA) Gerência de Relações Institucionais e Desenvolvimento (GERIDE)

(projeto de multimídia)  
Maria Tereza da Costa Dias  
Aldenir Justino de Oliveira

#### Agradecimentos

Claiton Piva Pinto  
Claudia Cerveira de Almeida  
Márcio de Oliveira Cândido  
Márcio Silva  
Ivete Souza de Almeida  
Evandro Silva – ICMBio  
João Las Casas  
José Espírito Santo Lima  
Lúcio Andersom Martins  
Marcos Cristóvão Baptista  
Manoel Pedro Tuller

#### FOTOS DA CAPA:

1. Atrativo geoturístico e geossítio: Conophytons de Cabeludo (Estromatólito colunar) - Sítio Paleontológico de Cabeludo, município de Vazante, Minas Gerais.
2. Recursos minerais: Mina de Ferro da Fm. Cauê (Quadrilátero Ferrífero), município de Itatiaiuçu, Minas Gerais.
3. Implicações geotécnicas: Processo erosivo muito evoluído em talude de corte, município de Entre Folhas, Minas Gerais.
4. Atrativo geoturístico: Cachoeira da Fumaça esculpida sobre quartzitos do Grupo Carrancas, município de Carrancas, Minas Gerais.

Machado, Marcely Ferreira

Geodiversidade do estado de Minas Gerais / Organização  
Marcely Ferreira Marchado [e] Sandra Fernandes da Silva. — Belo Horizonte:  
CPRM, 2010.  
131 p. ; 30 cm + 1 DVD

Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade.

1. Geodiversidade – Brasil – Minas Gerais. 2. Meio ambiente – Brasil – Minas Gerais. 3. Planejamento territorial – Brasil – Minas Gerais. 4. Geologia ambiental – Brasil – Minas Gerais. I. Silva, Sandra Fernandes (Org.). II. Título.

CDD 551.098151

# APRESENTAÇÃO

Uma das realizações mais marcantes da atual gestão do Serviço Geológico do Brasil, em estreita sintonia com a Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral do Ministério de Minas e Energia (SGM/MME), tem sido a consolidação do conceito de **geodiversidade** e, conseqüentemente, do desenvolvimento de métodos e tecnologia para geração de um produto de altíssimo valor agregado, que rompe o estigma de uso exclusivo das informações geológicas por empresas de mineração.

A primeira etapa no caminho dessa consolidação foi a elaboração do Mapa Geodiversidade do Brasil (escala 1:2.500.000), que sintetiza os grandes geossistemas formadores do território nacional. Além de oferecer à sociedade uma ferramenta científica inédita de macroplanejamento do ordenamento territorial, o projeto subsidiou tanto a formação de uma cultura interna com relação aos levantamentos da geodiversidade quanto os aperfeiçoamentos metodológicos.

A receptividade ao Mapa Geodiversidade do Brasil, inclusive no exterior, mostrando o acerto da iniciativa, incentivou-nos a dar prosseguimento à empreitada, desta feita passando aos mapas de geodiversidade estaduais, considerando que nos últimos cinco anos o Serviço Geológico atualizou a geologia e gerou sistemas de informações geográficas de vários estados brasileiros.

É nesse esforço que se insere o **LEVANTAMENTO DA GEODIVERSIDADE DO ESTADO DE MINAS GERAIS** aqui apresentado. Trata-se de um produto concebido para oferecer aos diversos segmentos da sociedade mineira uma tradução do conhecimento geológico-científico estadual, com vistas a sua aplicação ao uso adequado do território. Destina-se a um público-alvo variado, desde empresas mineradoras tradicionais, passando pela comunidade acadêmica, gestores públicos da área de ordenamento territorial e gestão ambiental, organizações não-governamentais até a sociedade civil.

Dotado de uma linguagem de compreensão universal, tendo em vista seu caráter multiuso, o produto compartimenta o território mineiro em unidades geológico-ambientais, destacando suas limitações e potencialidades, considerando-se a constituição litológica da supraestrutura e da infraestrutura geológica. São abordadas, também: características geotécnicas; coberturas de solos; migração, acumulação e disponibilidade de recursos hídricos; vulnerabilidades e capacidades de suporte à implantação de diversas atividades antrópicas dependentes dos fatores geológicos; disponibilidade de recursos minerais essenciais ao desenvolvimento social e econômico do estado. Nesse particular, em função de fatores estratégicos, são propostas Áreas de Relevante Interesse Mineral (ARIMs), constituindo-se em valioso subsídio às tomadas de decisão conscientes sobre o uso do território.

O Mapa Geodiversidade do Estado de Minas Gerais foi gerado a partir dos SIGs do Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais (2003), escala 1:1.000.000, e do Mapa Geodiversidade do Brasil (2006), escala 1:2.500.000, bem como de informações agregadas obtidas por meio de trabalho de campo, consulta bibliográfica e dados de instituições públicas e de pesquisa.

As informações técnicas produzidas pelo levantamento da Geodiversidade do Estado de Minas Gerais – na forma de mapa, SIG e texto explicativo – encontram-se disponíveis no portal da CPRM/SGB (<<http://www.cprm.gov.br>>) para pesquisa e download, por meio do GeoBank, o sistema de bancos de dados geológicos corporativo da Empresa, e em formato impresso e digital (DVD-ROM), para distribuição ao público em geral.

Com este lançamento, o Serviço Geológico do Brasil dá mais um passo fundamental, no sentido de firmar os mapas de geodiversidade como produtos obrigatórios de agregação de valor aos mapas geológicos, na certeza de conferir às informações geológicas uma inusitada dimensão social, que, em muito, transcende sua reconhecida dimensão econômica. E, como tal, permite maior inserção dos temas geológicos nas políticas públicas governamentais, a bem da melhoria da qualidade de vida da população brasileira.

Agamenon Sergio Lucas Dantas

Diretor-Presidente

CPRM/Serviço Geológico do Brasil

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>09</b>
Pedro Augusto dos Santos Pfaltzgraff, Luiz Moacyr de Carvalho, María Angélica Barreto Ramos	
<b>2. ASPECTOS GERAIS DO MEIO FÍSICO</b> .....	<b>15</b>
Marcos Cristóvão Baptista, Sandra Fernandes da Silva, Marcelo Eduardo Dantas, Kátia da Silva Duarte, Bernardo Faria de Almeida, Antenor de Faria Muricy Filho, Cintia Itokazu Coutinho, Luciene Pedrosa	
<b>3. METODOLOGIA E ESTRUTURAÇÃO DA BASE DE DADOS EM SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA</b> .....	<b>35</b>
María Angélica Barreto Ramos, Marcelo Eduardo Dantas, Antônio Theodorovicz, Valter José Marques, Vitório Orlandi Filho, María Adelaide Mansini Maia, Pedro Augusto dos Santos Pfaltzgraff	
<b>4. GEODIVERSIDADE: ADEQUABILIDADES/POTENCIALIDADES E LIMITAÇÕES FRENTE AO USO E À OCUPAÇÃO</b> .....	<b>49</b>
Marcely Ferreira Machado, Sandra Fernandes da Silva	

## APÊNDICES

I . UNIDADES GEOLÓGICO-AMBIENTAIS DO TERRITÓRIO BRASILEIRO

II . BIBLIOTECA DE RELEVO DO TERRITÓRIO BRASILEIRO

NOTA SOBRE OS AUTORES



# 1

## INTRODUÇÃO

Pedro Augusto dos Santos Pfaltzgraff (*pedroaugusto@re.cprm.gov.br*)

Luiz Moacyr de Carvalho (*moacyr@sa.cprm.gov.br*)

Maria Angélica Barreto Ramos (*mabr@sa.cprm.gov.br*)

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

### SUMÁRIO

Geodiversidade.....	11
Aplicações.....	12
Referências.....	13



## GEODIVERSIDADE

O planeta Terra se comporta como um sistema vivo, por meio de um conjunto de grandes engrenagens que se movimenta, que se modifica, acolhe e sustenta uma imensidade de seres vivos em sua superfície. A sua “vida” se expressa pelo movimento do planeta no entorno do Sol e de seu eixo de rotação e no movimento interno por meio das correntes de convecção que se desenvolvem abaixo da crosta terrestre. Em decorrência, tem-se, em superfície, a deriva dos continentes, vulcões e terremotos, além do movimento dos ventos e diversos agentes climáticos que atuam na modelagem das paisagens.

Embora seja o sustentáculo para o desenvolvimento da vida na superfície terrestre, o substrato tem recebido menos atenção e estudo que os seres que se assentam sobre ele. Partindo dessa afirmação, são mais antigos e conhecidos o termo e o conceito de biodiversidade que os referentes a **geodiversidade**.

O termo “geodiversidade” foi empregado pela primeira vez em 1993, na Conferência de Malvern (Reino Unido) sobre “Conservação Geológica e Paisagística”. Inicialmente, o vocábulo foi aplicado para gestão de áreas de proteção ambiental, como contraponto a “biodiversidade”, já que havia necessidade de um termo que englobasse os elementos não-bióticos do meio natural (SERRANO e RUIZ FLAÑO, 2007). Todavia, essa expressão havia sido empregada, na década de 1940, pelo geógrafo argentino Federico Alberto Daus, para diferenciar áreas da superfície terrestre, com uma conotação de Geografia Cultural (ROJAS citado por SERRANO e RUIZ FLAÑO, 2007, p. 81).

Em 1997, Eberhard (citado por SILVA et al, 2008a, p. 12) definiu geodiversidade como a *diversidade natural entre aspectos geológicos, do relevo e dos solos*.

O primeiro livro dedicado exclusivamente à temática da geodiversidade foi lançado em 2004. Trata-se da obra de Murray Gray (professor do Departamento de Geografia da Universidade de Londres) intitulada “Geodiversity: Valuing and Conserving Abiotic Nature”. Sua definição de geodiversidade é bastante similar à de Eberhard.

Owen et al. (2005), em seu livro “Gloucestershire Cotswolds: Geodiversity Audit & Local Geodiversity Action Plan”, consideram que:

*Geodiversidade é a variação natural (diversidade) da geologia (rochas, minerais, fósseis, estruturas), geomorfologia (formas e processos) e solos. Essa variedade de ambientes geológicos, fenômenos e processos faz com que essas rochas, minerais, fósseis e solos sejam o substrato para a vida na Terra. Isso inclui suas relações, propriedades, interpretações e sistemas que se inter-relacionam com a paisagem, as pessoas e culturas.*

Em 2007, Galopim de Carvalho, em seu artigo “Natureza: Biodiversidade e Geodiversidade”, assume esta definição:

*Biodiversidade é uma forma de dizer, numa só palavra, diversidade biológica, ou seja, o conjunto dos seres vivos. É, para muitos, a parte mais visível da natureza, mas não é, seguramente, a mais importante. Outra parte, com idêntica importância, é a geodiversidade, sendo esta entendida como o conjunto das rochas, dos minerais e das suas expressões no subsolo e nas paisagens. No meu tempo de escola ainda se aprendia que a natureza abarcava três reinos: o reino animal, o reino vegetal e o reino mineral. A biodiversidade abrange os dois primeiros e a geodiversidade, o terceiro.*

Geodiversidade, para Brilha et al. (2008), é a *variedade de ambientes geológicos, fenômenos e processos activos que dão origem a paisagens, rochas, minerais, fósseis, solos e outros depósitos superficiais que são o suporte para a vida na Terra*.

No Brasil, os conceitos de geodiversidade se desenvolveram praticamente de forma simultânea ao pensamento internacional, entretanto, com foco direcionado para o planejamento territorial, embora os estudos voltados para geoconservação não sejam desconsiderados (SILVA et al., 2008a).

Na opinião de Veiga (2002), a *geodiversidade expressa as particularidades do meio físico, abrangendo rochas, relevo, clima, solos e águas, subterrâneas e superficiais*.

A Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB) define geodiversidade como:

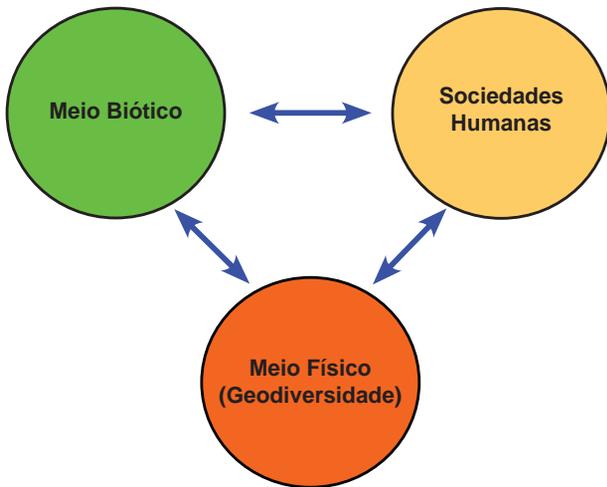
*O estudo da natureza abiótica (meio físico) constituída por uma variedade de ambientes, composição, fenômenos e processos geológicos que dão origem às paisagens, rochas, minerais, águas, fósseis, solos, clima e outros depósitos superficiais que propiciam o desenvolvimento da vida na Terra, tendo como valores intrínsecos a cultura, o estético, o econômico, o científico, o educativo e o turístico (CPRM, 2006).*

Já autores como Xavier da Silva e Carvalho Filho (citados por SILVA et al., 2008a, p. 12) apresentam definições diferentes da maioria dos autores nacionais e internacionais, definindo geodiversidade a partir da *variabilidade das características ambientais de uma determinada área geográfica*.

Embora os conceitos de geodiversidade sejam menos conhecidos do grande público que os de biodiversidade, esta é dependente daquela, conforme afirmam Silva et al. (2008a, p. 12):

*A biodiversidade está assentada sobre a geodiversidade e, por conseguinte, é dependente direta desta, pois as rochas, quando intemperizadas, juntamente com o relevo e o clima, contribuem para a formação dos solos, disponibilizando, assim, nutrientes e micronutrientes, os quais são absorvidos pelas plantas, sustentando e desenvolvendo a vida no planeta Terra. Em síntese, pode-se considerar que o conceito de geodiversidade abrange a porção abiótica do geossistema (o qual é constituído pelo tripé que envolve a análise integrada de fatores abióticos, bióticos e antrópicos) (Figura 1.1).*

### Relação entre sistemas



**Figura 1.1** - Relação de interdependência entre os meios físico, biótico e a sociedade.

### APLICAÇÕES

O conhecimento da geodiversidade nos leva a identificar, de maneira mais segura, as aptidões e restrições de uso do meio físico de uma área, bem como os impactos advindos de seu uso inadequado. Além disso, ampliam-se as possibilidades de melhor conhecer os recursos minerais, os riscos geológicos e as paisagens naturais inerentes a uma determinada região composta por tipos específicos de rochas, relevo, solos e clima. Dessa forma, obtém-se um diagnóstico do meio físico e de sua capacidade de suporte para subsidiar atividades produtivas sustentáveis (Figura 1.2).

Exemplos práticos da importância do conhecimento da geodiversidade de uma região para subsidiar o aproveitamento e a gestão do meio físico são ilustrados a seguir.

Em determinada região formada por rochas cristalinas, relevo ondulado, solos pouco espessos, clima seco e com poucos cursos d'água perenes, o que seria possível fazer para promover o seu aproveitamento econômico (Figura 1.3)?

O conhecimento da geodiversidade de uma região implica o conhecimento de suas rochas, portanto, nesse caso específico, a rocha, constituindo-se em um granito, mostraria aptidões para aproveitamento do material como



**Figura 1.3** - Área de serras e morros em granito, com potencial para uso como rochas ornamentais e britas (Pedra Azul, MG).



**Figura 1.2** - Principais aplicações da geodiversidade. Fonte: Silva et al. (2008b, p. 182).

rocha ornamental ou brita para construção civil em áreas próximas. O relevo ondulado e a pouca espessura do solo seriam outros fatores para auxiliar no desenvolvimento dessa atividade. A escassez de água (clima seco, poucos cursos d'água perenes e aquíferos do tipo fraturado) tornaria a área pouco propícia, ou com restrições, à instalação de atividades agrícolas ou assentamentos urbanos.

Em outro exemplo, tem-se uma área plana (planícies de inundação de um rio), inadequada para ocupação urbana ou industrial, devido à possível ocorrência de turfas e argilas moles, além da suscetibilidade a inundações periódicas. Nesse caso, temos os exemplos clássicos das várzeas e planícies de inundação onde se instalaram grandes bairros periodicamente inundados durante a época de cheia dos rios (Figuras 1.4 e 1.5).

Importantes projetos nacionais na área de infraestrutura já se utilizam do conhecimento sobre a geodiversidade da área proposta para sua implantação. Como exemplo, o levantamento ao longo do trajeto planejado para as ferrovias Transnordestina, Este-Oeste e Norte-Sul, em que o conhecimento das características da geodiversidade da região se faz importante para escolha não só dos métodos construtivos do empreendimento como também para o total aproveitamento econômico das regiões no entorno desses projetos.

Convém ressaltar que o conhecimento da geodiversidade implica o conhecimento do meio físico no tocante às suas limitações e potencialidades, possibilitando a planejadores e administradores uma melhor visão do tipo de aproveitamento e do uso mais adequado para determinada área ou região.



**Figura 1.4** - Vista aérea da cidade de Santa Rita do Sapucaí (MG), área de várzea e de planície de inundação, alagada devido a chuvas excessivas e de grande volume no ano de 2000. (<http://www.emporiodenoticias.com>: 04 out. 2010).



**Figura 1.5** - Vista parcial da região do Barreiro (Belo Horizonte), em setembro de 2009. Inundação provocada por grande volume de chuvas. (<http://veja.abril.com.br/noticia/brasil>: 10 de out. 2010)

## REFERÊNCIAS

- BRILHA, J.; PEREIRA, D.; PEREIRA, P. **Geodiversidade: valores e usos**. Braga: Universidade do Minho, 2008.
- CPRM. **Mapa geodiversidade do Brasil**: escala 1:2.500.000, legenda expandida. Brasília: CPRM, 2006. 68 p. CD-ROM.
- GALOPIM DE CARVALHO, A. M. **Natureza: biodiversidade e geodiversidade**. [S.l.: s.n.] 2007. Disponível em: <<http://terraquegira.blogspot.com/2007/05/natureza-biodiversidade-e.html>>. Acesso em: 25 jan. 2010.
- GRAY, M. **Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature**. New York: John Wiley & Sons, 2004. 434 p.
- OWEN, D.; PRICE, W.; REID, C. **Gloucestershire cotswolds: geodiversity audit & local geodiversity action plan**. Gloucester: Gloucestershire Geoconservation Trust, 2005.
- SERRANO CAÑADAS, E.; RUIZ FLAÑO, P. Geodiversidad: concepto, evaluación y aplicación territorial: el caso de Tiermes-Caracena (Soria). **Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles**, La Rioja, n. 45, p. 79-98, 2007.
- SILVA, C. R. da; RAMOS, M. A. B.; PEDREIRA, A. J.; DANTAS, M. E. Começo de tudo. In: SILVA, C. R. da (Ed.). **Geodiversidade do Brasil: conhecer o passa-**

do, para entender o presente e prever o futuro. Rio de Janeiro: CPRM, 2008a. 264 p. il. p. 11-20.

SILVA, C. R. da; MARQUES, V. J.; DANTAS, M. E.; SHINZATO, E. Aplicações múltiplas do conhecimento da geodiversidade. In: SILVA, C. R. da (Ed.). **Geodiversidade do Brasil**: conhecer o passado, para entender o presente e prever o futuro. Rio de Janeiro: CPRM, 2008b. 264 p. il. p. 181-202.

XAVIER DA SILVA, J.; CARVALHO FILHO, L. M. Índice de geodiversidade da restinga da Marambaia (RJ): um exemplo do geoprocessamento aplicado à geografia física. **Revista de Geografia**, Recife: DCG/UFPE, v. 1, p. 57-64, 2001.

VEIGA, T. **A geodiversidade do cerrado**. [S.l.: s.n.], 2002. Disponível em: <<http://www.pequi.org.br/geologia.html>>. Acesso em: 25 jan. 2010.

# 2

## ASPECTOS GERAIS DO MEIO FÍSICO

Marcos Cristóvão Baptista (*marcos.baptista@cprm.gov.br*)<sup>1</sup>

Sandra Fernandes da Silva (*sandra.silva@cprm.gov.br*)<sup>1</sup>

Marcelo Eduardo Dantas (*marcelo.dantas@cprm.gov.br*)<sup>1</sup>

Kátia da Silva Duarte (*ksduarte@anp.gov.br*)<sup>2</sup>

Bernardo Faria de Almeida (*bfalmeida@anp.gov.br*)<sup>2</sup>

Antenor de Faria Muricy Filho (*amuricy@anp.gov.br*)<sup>2</sup>

Cintia Itokazu Coutinho (*ccoutinho@anp.gov.br*)<sup>2</sup>

Luciene Pedrosa (*lpedrosa@anp.gov.br*)<sup>2</sup>

<sup>1</sup>CPRM – Serviço Geológico do Brasil

<sup>2</sup>ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

### SUMÁRIO

Introdução .....	17
Geologia.....	17
Cráton do São Francisco.....	17
Embasamento.....	17
Coberturas .....	17
Faixa Brasília .....	18
Grupo Canastra.....	18
Grupo Araxá .....	19
Grupo Andrelândia .....	19
Grupo Ibiá.....	19
Grupo Vazante.....	19
Orógeno Araçuaí/Ribeira .....	19
Embasamento.....	19
Coberturas .....	20
Bacia do Paraná.....	20
Grupo São Bento .....	20

Grupo Bauru .....	20
Coberturas colúvio-aluviais e eluviais .....	20
Relevo .....	21
Domínios geomorfológicos e padrões de relevo .....	21
Domínio das unidades agradacionais.....	21
Domínio das unidades denudacionais em rochas sedimentares pouco litificadas.....	23
Domínio das unidades denudacionais em rochas sedimentares litificadas.....	23
Domínio dos relevos de aplainamento .....	23
Domínio das unidades denudacionais em rochas cristalinas ou sedimentares.....	24
Panorama da pesquisa e do potencial petrolífero .....	25
Bacia do Paraná.....	25
Bacia do São Francisco .....	28
Referências .....	31

## INTRODUÇÃO

O estado de Minas Gerais apresenta grande diversidade geológica, ocorrendo nessa área sequências de idades arqueana a fanerozoica, em contextos tectônicos e metamórficos dos mais variados. Tal variedade geológica reflete-se tanto na história mineradora do estado, cujo desenvolvimento está intimamente ligado à exploração de recursos minerais desde o período colonial, quanto em sua geodiversidade.

## GEOLOGIA

As principais unidades geológicas aflorantes no território mineiro são assim divididas: (i) Cráton do São Francisco; (ii) Faixa Brasília; (iii) Orógeno Araçuaí/Ribeira; (iv) Bacia do Paraná; (v) Coberturas Colúvio-Aluviais e Eluviais.

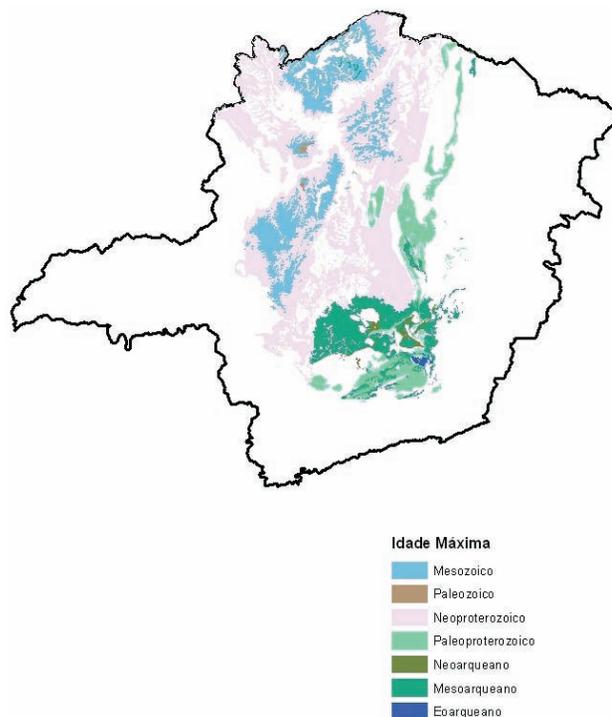
Tais unidades, sob uma abordagem tectônica, são resultantes da deposição de sedimentos em bacias geradas em contexto de tafrogênese mundial, com a “quebra” do supercontinente Rodínia ocorrida durante o Toniano. Foram gerados, ainda, granitos e rochas básicas durante o desenvolvimento de bacias *rifts*, bem como rochas de crosta oceânica, geradas na evolução de bacias de margem passiva. Essas sequências foram, posteriormente, metamorfozadas durante a fase de compressão que culminou com a amalgamação do supercontinente Gondwana durante o Neoproterozoico (Brasiliano) e o estabelecimento do Cráton do São Francisco e seus limites principais: o Orógeno Araçuaí/Ribeira e a Faixa Brasília.

Nesse contexto, foram gerados vários estilos tectônicos de bacias, possibilitando a deposição de sedimentos e geração de granitos pré-, sin- e tarditectônicos. Durante o Mesozoico, com a “quebra” de Gondwana e o surgimento do oceano Atlântico, novas bacias foram geradas, sendo que os representantes mais importantes no estado referem-se às unidades que ocorrem nas bacias do Paraná e Sanfranciscana. Posteriormente, sucessivos eventos erosivos de aplainamento e sedimentação de coberturas cenozoicas promoveram o entalhamento do relevo atual.

### Cráton do São Francisco

O Cráton do São Francisco, como definido por Almeida (1977), é uma unidade geotectônica que ocupa grande parte do território mineiro (Figura 2.1), apresentando-se delimitado pela Faixa Brasília (a oeste) e pelo Orógeno Araçuaí/Ribeira (a sul e a leste). Almeida (1977) considera que o final do processo de cratonização ter-se-ia dado durante o Transamazônico.

Para efeito de classificação, são consideradas como embasamento as rochas mais velhas que o Supergrupo Espinhaço, as quais representam as unidades mais antigas das coberturas, cujas rochas basais possuem 1,8 Ga (DUSSIN e DUSSIN, 1995; MACHADO et al., 1989).



**Figura 2.1** - Idades e distribuição das principais sequências aflorantes no cráton do São Francisco no estado de Minas Gerais (Bizzi et al., 2003).

### Embasamento

As principais feições tectônicas do embasamento do Cráton do São Francisco, localizado em seu extremo sul, em Minas Gerais, são: Quadrilátero Ferrífero e Cinturão Mineiro, que envolvem um complexo metamórfico basal (TTG), supracrustais do Supergrupo Rio das Velhas, Supergrupo Minas, Grupo Itacolomi e granitoides arqueanos e paleoproterozoicos.

O Supergrupo Rio das Velhas corresponde a uma sequência *greenstone belt*, com metavulcânicas (komatiitos, basaltos e vulcanoclásticas) e metassedimentos, incluindo formações ferríferas, carbonatos e terrígenos. A idade das rochas vulcânicas da base desse supergrupo é 2,776 Ga (MACHADO et al., 1996).

Já o Supergrupo Minas é constituído por quartzitos, filitos, rochas carbonáticas e formações ferríferas (DORR, 1969). A idade máxima dessa sequência, baseada em relações de campo e datações de zircão detrítico, é de 2,65 Ga (MACHADO et al., 1996).

### Coberturas

A Bacia Intracratônica do São Francisco, considerada aqui como o *loco* deposicional das principais coberturas do Cráton do São Francisco, compreende as seguintes unidades litoestratigráficas: Supergrupo Espinhaço, de idade paleo/mesoproterozoica; Grupo Bambuí, de idade neoproterozoica; sedimentos paleozoicos do Grupo Santa Fé; unidades cretácicas dos grupos Areado, Mata da Corda e Urucuaia.

- Supergrupo Espinhaço

A distribuição do Supergrupo Espinhaço na Bacia do São Francisco é restrita, tendo sua ocorrência mais significativa nas serras do Cabral e de Água Fria, em Minas Gerais. A unidade mais representativa corresponde à Formação Galho do Miguel, constituída por quartzitos de origem eólica, na serra do Cabral (ALKMIM e MARTINS-NETO, 2001).

- Grupo Bambuí

O Grupo Bambuí, originalmente definido por Costa e Branco (1961), apresenta em sua estratigrafia atual, proposta por Dardenne (1978), seis formações, assim denominadas da base para o topo: Jequitaiá, Sete Lagoas, Serra de Santa Helena, Lagoa do Jacaré, Serra da Saudade e Três Marias.

A Formação Jequitaiá, originalmente denominada Carrancas, corresponde à base do Grupo Bambuí, constituindo-se de paraconglomerados com seixos de quartzitos, calcários, dolomitos, *chert*, gnaisses, micaxistos, granitos e rochas vulcânicas. É associada a um evento de glaciação generalizado no Neoproterozoico, com unidades correlatas em vários estados e localidades.

A Formação Sete Lagoas apresenta rochas carbonáticas em lentes de diversas dimensões, com intercalações margosas e pelíticas, que formam um horizonte contínuo nas regiões cratônicas de Januária, Itacarambi, Montalvânia e serra do Ramalho, onde recebe o nome de Formação Januária.

A Formação Serra de Santa Helena é um nível-chave para a estratigrafia do Grupo Bambuí, pois é composta por folhelhos e siltitos acinzentados que separam os níveis carbonáticos das formações Sete Lagoas e Lagoa do Jacaré.

A Formação Lagoa do Jacaré se caracteriza pela alternância de calcários oolíticos e pisolíticos, de cor cinza-escura, com intercalações de siltitos e margas.

Em direção ao topo, segue-se a Formação Serra da Saudade, com folhelhos, argilitos e siltitos esverdeados (“verdetes”), que passam progressivamente a siltitos arcoseanos. A oeste do estado de Minas Gerais, na região de Lagoa Formosa e Patos de Minas, são incluídos, nessa formação, diamictitos, calcários e conglomerados (BAPTISTA, 2004).

Finalmente, a Formação Três Marias encerra a sequência, com siltitos, arenitos e arcóseos cinza a verde-escuros.

- Grupo Santa Fé

O Grupo Santa Fé é constituído por diamictitos e folhelhos com seixos pingados com intercalação de arenitos. Essa sequência aflora no centro da Bacia do São Francisco, representando depósitos glaciolacustres e glaciofluviais de idade permocarbonífera (DARDENNE et al., 1990).

- Grupo Areado

Representa a unidade litoestratigráfica basal do Cretáceo da Bacia do São Francisco e inicia-se com conglomerados fluviais contendo ventifactos (Formação Abaeté), depositados em regime torrencial sob clima árido a semiárido. Esses conglomerados jazem diretamente sobre o embasamento representado por filitos do Grupo Bambuí e o contato se

faz segundo uma discordância angular e erosiva de âmbito regional (SEER et al., 1989).

Acima da Formação Abaeté ocorre um pacote de siltitos lacustres contendo ostracodes (Formação Quiricó), superposto pela Formação Três Barras, constituída por arenitos eólicos e fluviodeltaicos, que tem sido, ao longo do tempo, a mais bem estudada porção do Grupo Areado, seja devido ao seu bom estado de preservação contra a ação intempérica, seja por sua grande distribuição geográfica (SEER et al., 1989).

O topo do Grupo Areado exhibe uma desconformidade, de âmbito local, que o separa do Grupo Mata da Corda.

- Grupo Mata da Corda

Esse grupo é constituído por rochas efusivas ultramáficas e alcalinas (Formação Patos) e conglomerados vulcânicos e arenitos vulcanoclásticos (Formação Capacete). As rochas desse grupo assentam-se diretamente sobre as rochas sedimentares do Grupo Areado ou sobre os metassedimentos do Grupo Bambuí.

O Grupo Mata da Corda é constituído por rochas vulcânicas alcalinas que ocorrem na forma de depósitos piroclásticos, além de derrames, condutos vulcânicos e diques. A Formação Patos é representada por rochas vulcânicas alcalinas que compreendem, principalmente, depósitos piroclásticos, além de derrames, condutos vulcânicos e diques. A sequência de rochas tem espessura variável, nunca excedendo 60 m (SEER et al., 1989). Seer e Moraes (1988), com base em descrições macroscópicas e microscópicas de rochas vulcânicas da região de Lagoa Formosa, caracterizaram-nas como melaleucitos, olivina-melaleucitos, flogopita-melaleucitos e, subordinadamente, alcalipiroxenito, basaltos e sienitos.

- Grupo Urucua

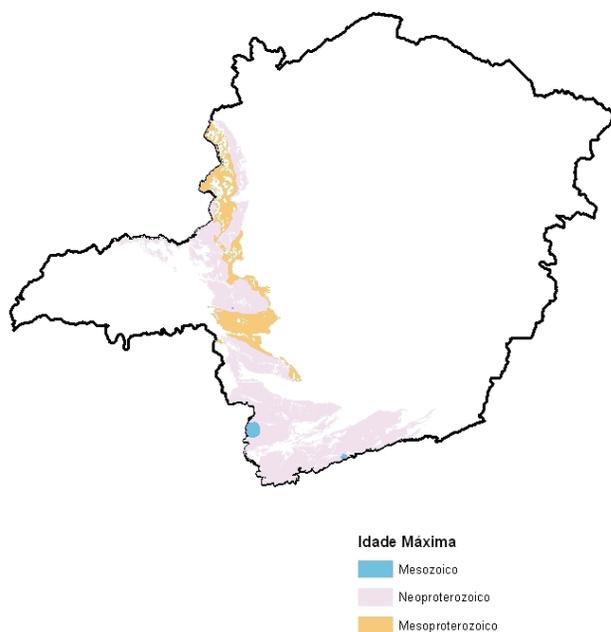
É representado por fácies fluvial e eólica, constituída de arenitos vermelhos com matriz montimorilonítica e, mais raramente, conglomerados. Representa, possivelmente, sedimentação sob condições fluviais (SEER et al., 1989).

## Faixa Brasília

A Faixa Brasília compõe um sistema orogênico que delimita a porção oeste do Cráton do São Francisco. Sua compartimentação define-se, em parte, pelo acrecionamento de metassedimentos gerados em bacias sedimentares de margem passiva, em um evento tafrogenético que antecedeu esses eventos de acreção. Nesse contexto, no estado de Minas Gerais depositaram-se os grupos Canastra, Ibiá, Vazante, Araxá e Andrelândia (Figura 2.2).

## Grupo Canastra

As rochas do Grupo Canastra afloram, a oeste de Minas Gerais, como lascas tectônicas, constituídas por quartzitos e filitos. Provavelmente, essas rochas originaram-se em bacia do tipo margem passiva com fonte de sedimentos provenientes do Cráton do São Francisco (BARBOSA et al., 1970).



**Figura 2.2** - Idade e distribuição das principais unidades da faixa Brasília aflorantes no estado de Minas Gerais (Bizzi et al., 2003).

### Grupo Araxá

O Grupo Araxá (SEER et al., 2001) é constituído por *nappes* de metassedimentos com rochas vulcânicas associadas. Ocorrem, ainda, rochas granitoides sincolisionais de fusão crustal.

### Grupo Andrelândia

É representado por uma unidade metassedimentar, no sul de Minas Gerais, constituída por sequências semelhantes às encontradas no Grupo Araxá (PACIULLO et al., 2000).

### Grupo Ibiá

Aflora no oeste do estado de Minas Gerais, na região da cidade de Ibiá, até o sul do estado de Goiás (DARDENNE, 2000; LIMA e MORATO, 2003). Na base, ocorre a Formação Cubatão, com metadiamicritos de matriz argiloarenosa bem foliada, com centenas de metros de espessura; no topo, ocorre a Formação Rio Verde, constituída por metarritmitos e filitos.

### Grupo Vazante

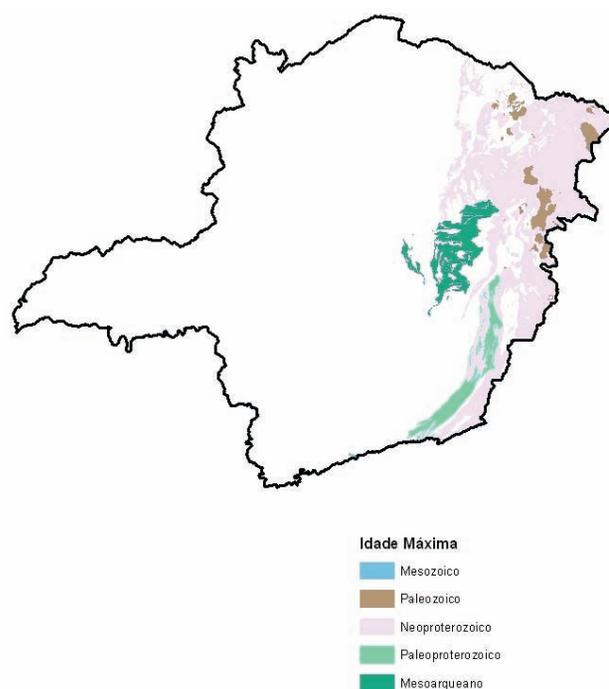
Ocorre na porção noroeste de Minas Gerais e é representado por uma espessa sequência pelitocarbonática de origem marinha. Importantes depósitos de chumbo e zinco estão hospedados nos dolomitos desse grupo (Minas de Vazante e Morro Agudo).

O Grupo Vazante pode ser dividido em três formações: Lapa, constituída por margas, quartzito e siltitos bandados com intercalações de níveis carbonáticos; Vazante, constituída por siltitos bandados com intercalações de níveis carbonáticos,

lentes de dolomito e quartzitos; Serra do Garrote, constituída por siltitos de aspecto maciço, quartzitos, lentes de dolomitos e, localmente, conglomerados (TULLER et al., 2010).

### Orógeno Araçuaí/Ribeira

A Faixa de Dobramentos Araçuaí (ALMEIDA, 1977), estabelecida durante a Orogênese Brasileira, constitui o limite oriental do Cráton do São Francisco. A passagem do Orógeno Araçuaí para o Orógeno Ribeira é marcada pela mudança na direção da estruturação brasileira, que passa de NNE ao norte, para NE a sul, não ocorrendo descontinuidade estratigráfica ou metamórfica. A subdivisão da Faixa Araçuaí/Ribeira (Figura 2.3) simplifica a descrição das unidades geológicas em: embasamento arqueano ou paleoproterozoico mais antigo que 1.7 Ga e coberturas compostas pelas sequências metassedimentares.



**Figura 2.3** - Idades e distribuição das principais unidades do Orógeno Araçuaí/Ribeira aflorantes no estado de Minas Gerais (Bizzi et al., 2003).

### Embasamento

O embasamento do Orógeno Araçuaí é compreendido pelos complexos Guanhães, Gouveia, Porteirinha, Mantiqueira e Juiz de Fora. Os três primeiros incluem gnaisses e migmatitos TTG (tonalito-trondhjemitó-granodiorito), plútons graníticos e sequências do tipo *greenstone belt*. O Complexo Mantiqueira é constituído por ortognaisses bandados, enquanto o Complexo Juiz de Fora é constituído basicamente por ortognaisses granulíticos. Esses complexos representam segmentos de um orógeno desenvolvido entre 2,2 e 2,05 Ga e retrabalhado pela orogénia Brasileira (NOCE et al., 2007).

## Coberturas

As coberturas da Faixa de Dobramentos Araçuaí/Ribeira compreendem seqüências metassedimentares e metavulcanossedimentares paleoproterozoicas a neoproterozoicas relacionadas a margem passiva e fechamento de oceanos.

- Grupo Macaúbas

Os depósitos mais antigos do Grupo Macaúbas são constituídos por arenitos e arcóseos com lentes de conglomerados da Formação Duas Barras e arenitos e pelitos da Formação Peixe Bravo, os quais representam um estágio de sedimentação fluvial durante o *rift* continental da Bacia Macaúbas (MARTINS, 2006; MARTINS-NETO e ALKMIM, 2001; NOCE et al., 1997). Idades U-Pb de zircões detríticos estabelecem uma idade de sedimentação máxima para a Formação Duas Barras de  $900 \pm 21$  Ma (BABINSKI et al. – dados não publicados).

A Formação Serra do Catuni é constituída por tilitos, arenitos e varvitos, seqüências de origem glacial, durante o estágio *rift* da Bacia Macaúbas (KARFUNKEL e HOPPE, 1988).

A Formação Ribeirão da Folha é uma sucessão de turbiditos de grãos finos, lentes de calcários e rochas calcissilicáticas e metultramáficas/metamáficas, consideradas por alguns autores como o registro da crosta oceânica gerada na evolução para bacia de margem passiva da Bacia Macaúbas (PEDROSA-SOARES et al., 2001; QUEIROGA, 2006).

- Formação Salinas

Essa formação é constituída por metarenitos, metapelitos e metaconglomerados, ocorrendo no leste do estado. Deposita-se em discordância sobre as rochas do Grupo Macaúbas (SANTOS et al., 2009). Pode ser considerada como uma seqüência turbidítica depositada entre 588 e 500 Ma (PEDROSA-SOARES et al., 2008), representando a unidade supracrustal mais jovem do Orógeno Araçuaí.

- Complexo Jequitinhonha

Representa uma associação de paragneisses migmatizadas com variadas concentrações de granada, cordierita, silimanita e grafita, quartzitos e rochas calcissilicáticas. Os protólitos dessas rochas são interpretados como arcóseos marinhos e grauvas depositados em ambiente oxidante (PEDROSA-SOARES et al., 2001).

- Grupo Rio Doce

Caracterizado por sedimentação turbidítica de mar profundo, com presença de metagrauvas, micaxisto e gnaisses bandados.

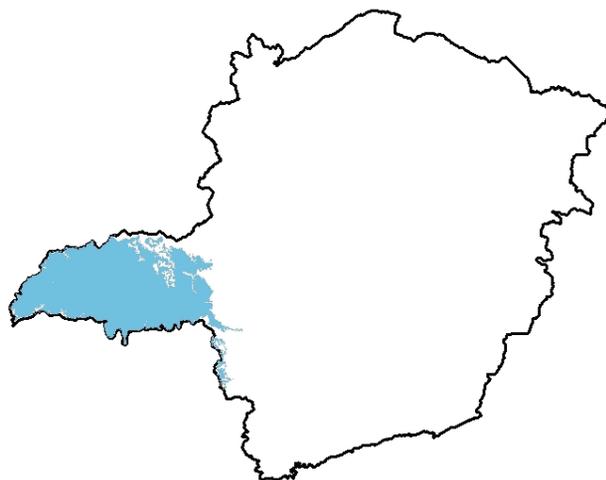
- Granitogênese pré-, sin- e tardiorogênica

No leste de Minas Gerais, ocorre variada gama de rochas graníticas relacionadas aos diversos estágios do ciclo geotectônico Brasileiro que afetou a região. São encontrados desde granitos do tipo A, relacionados ao estágio de *rift* continental precursor do Orógeno Araçuaí (SILVA et al., 2007), passando aos granitos do tipo I, pré- e

sincolisionais, pelos granitos do tipo S sincolisionais, granito tardi- a pós-colisionais e os granitos tipo I pós-colisionais (PEDROSA-SOARES et al., 2001).

## Bacia do Paraná

A Bacia do Paraná é constituída por uma sucessão sedimentar-magmática de idades entre o Neo-Ordoviciano e o Neocretáceo (MILANI, 2004). Essa bacia distribui-se entre o Brasil meridional, Paraguai oriental, nordeste da Argentina e norte do Uruguai. No estado de Minas Gerais, essas seqüências ocorrem no Triângulo Mineiro, sendo representadas principalmente pelos grupos São Bento e Bauru (Figura 2.4).



**Figura 2.4** - Distribuição das principais unidades geológicas mesozoicas da bacia do Paraná, aflorantes no estado de Minas Gerais (Bizzi et al., 2003).

## Grupo São Bento

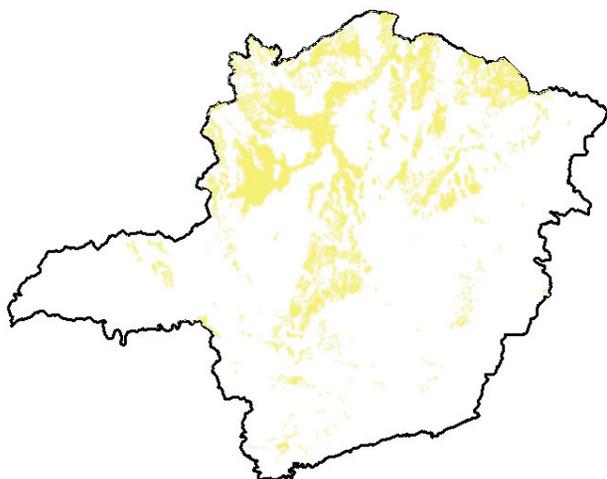
É constituído pelas formações Serra geral e Botucatu. A Formação Serra Geral é constituída de basaltos toleíticos, cujas datações Ar-Ar indicam o início dos derrames a 137,4 Ma e o encerramento a 128,7 Ma (TURNER et al., 1994). A Formação Botucatu é formada por arenitos finos a médios oriundos de um ambiente desértico. A essa formação está relacionado o Aquífero Guarani, um dos maiores reservatórios de água doce subterrânea do mundo.

## Grupo Bauru

Representa uma seqüência neocretácea, cujo substrato é composto pelas rochas vulcânicas da Formação Serra Geral. No Triângulo Mineiro, esse grupo é representado pelas formações Uberaba e Marília, constituídas por conglomerados, argilitos e siltitos gerados em sistemas de leques aluviais, fluviais e pântanos (FERNANDES, 1992).

## Coberturas Colúvio-Aluviais e Eluviais

As coberturas colúvio-aluviais e eluviais cenozoicas recobrem extensas áreas do estado de Minas Gerais (Figura 2.5).



**Figura 2.5** - Distribuição de coberturas cenozoicas no estado de Minas Gerais (Bizzi et al., 2003).

O fato de o território brasileiro estar inserido em uma região sujeita a intensa atividade intempérica, com altos índices de umidade e pluviosidade, possibilitou, ao longo de milhões de anos, a geração de extensa cobertura de solo. Tais coberturas estão distribuídas de acordo com diferentes estágios de aplainamento (superfícies de aplainamento) e, a elas, podem estar relacionadas ocorrências minerais, como bauxita, manganês, níquel e outros lateritos (BRAUN, 1971; KING, 1956).

## RELEVO

Minas Gerais apresenta um relevo que difere do de outras regiões do país pela diversidade de quadros morfológicos presentes. Tal diversidade é resultante da complexa atividade tectônica atuante nas rochas constituintes do escudo brasileiro a partir do Mesozoico: arqueando, falhando e fraturando tais rochas.

Na literatura, raros são os estudos que abordam exclusivamente o conjunto do relevo do estado de Minas Gerais. Uma alternativa de descrição de boa qualidade nesse domínio é o trabalho proposto por Saadi (1991). Neste, o autor afirma que o relevo de uma região é o resultado do conjunto de processos associados às dinâmicas internas e externas atuantes na superfície ao longo do tempo geológico. Logo, o quadro morfológico de uma área é derivado da evolução tectônica somada às ações de ordem climáticas atuantes na referida região.

No trabalho proposto, Saadi (1991) explica a complexa estruturação morfológica, a partir da evolução morfotectônica de quatro províncias que compõem o arcabouço estrutural do Brasil.

No âmbito do estudo da geodiversidade de Minas Gerais, adotou-se uma compartimentação do território em cinco grandes domínios geomorfológicos, baseada no processo atuante (agração ou denudação) e nos litotipos presentes.

Esses grandes compartimentos são segmentados em 17 padrões de relevo, os quais se encontram representados no encarte Compartimentos de Padrões de Relevo do Estado de Minas Gerais, que serviu de subsídio para elaboração do Mapa Geodiversidade do Estado de Minas Gerais (Apêndice II – Biblioteca de Relevo do Território Brasileiro). A individualização dos diversos compartimentos de relevo foi obtida com base em análises e interpretação de imagens SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), com resolução de 90 m, e de imagens GeoCover, sendo as unidades de relevo agrupadas de acordo com a caracterização da textura e rugosidade das imagens. A escala de trabalho adotada foi a de 1:1.000.000.

## Domínios Geomorfológicos e Padrões de Relevo

Com base no tipo de processo atuante (agração ou denudação) e nos tipos litológicos presentes, o território mineiro foi compartimentado em cinco grandes domínios geomorfológicos (Figura 2.6).

Os cinco grandes domínios geomorfológicos foram segmentados em padrões de relevo menores (Figura 2.7).

### Domínio das unidades agradacionais

Domínio composto por três padrões de relevo, que correspondem às zonas de acumulação atual e subatual.

- Planícies fluviais ou fluviolacustres (R1a)

São planícies de inundações e baixadas inundáveis. Constituem zonas de acumulação atual, sub-horizontais, compostas por depósitos arenoargilosos a argiloarenosos. Apresentam gradientes extremamente suaves e convergentes em direção aos cursos d'água principais. São terrenos periodicamente inundáveis, maldrenados nas planícies de inundações e bem drenados nos terraços. Exibem amplitude de relevo nula (zero) e inclinação das vertentes variando entre 0-3°.

- Terraços fluviais (R1b1)

São paleoplanícies de inundações em fundos de vales. Constituem zonas de acumulação subatual, planas a levemente onduladas, bem drenadas, compostas por depósitos arenosos a argilosos de origem fluvial. Encontram-se em um nível mais elevado que o das várzeas atuais e acima do nível das cheias sazonais. Exibem amplitude de relevo entre 2 e 10 m e inclinação das vertentes variando entre 0-3°.

- Vertentes recobertas por depósitos de encosta (R1c)

Constituem rampas de colúvio e cones de tálus. São zonas de acumulação atual – depósitos de encosta malselecionados. Os cones de tálus correspondem a superfícies deposicionais fortemente inclinadas. Ocorrem nos sopés das vertentes íngremes de terrenos montanhosos. As rampas de colúvio consistem em superfícies deposicionais inclinadas. Ocorrem nas baixas encostas de ambientes colinosos ou de morros.

Domínios Geomorfológicos  
do Estado de Minas Gerais

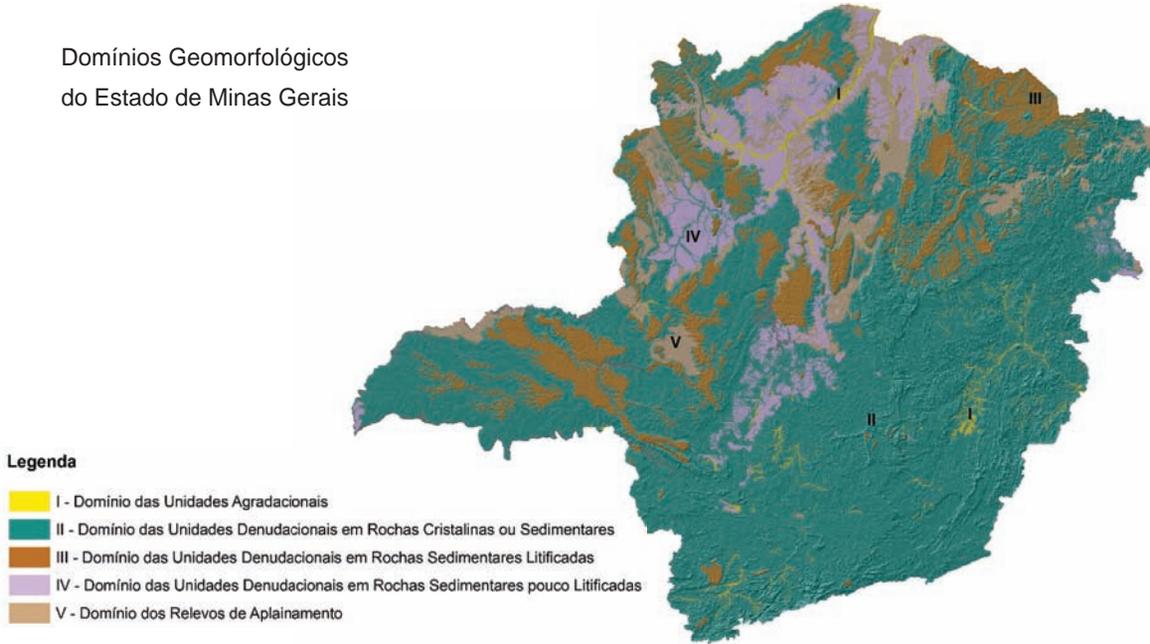


Figura 2.6 - Compartimentação do estado de Minas Gerais em domínios geomorfológicos.

Padrões de Relevo do  
Estado de Minas Gerais

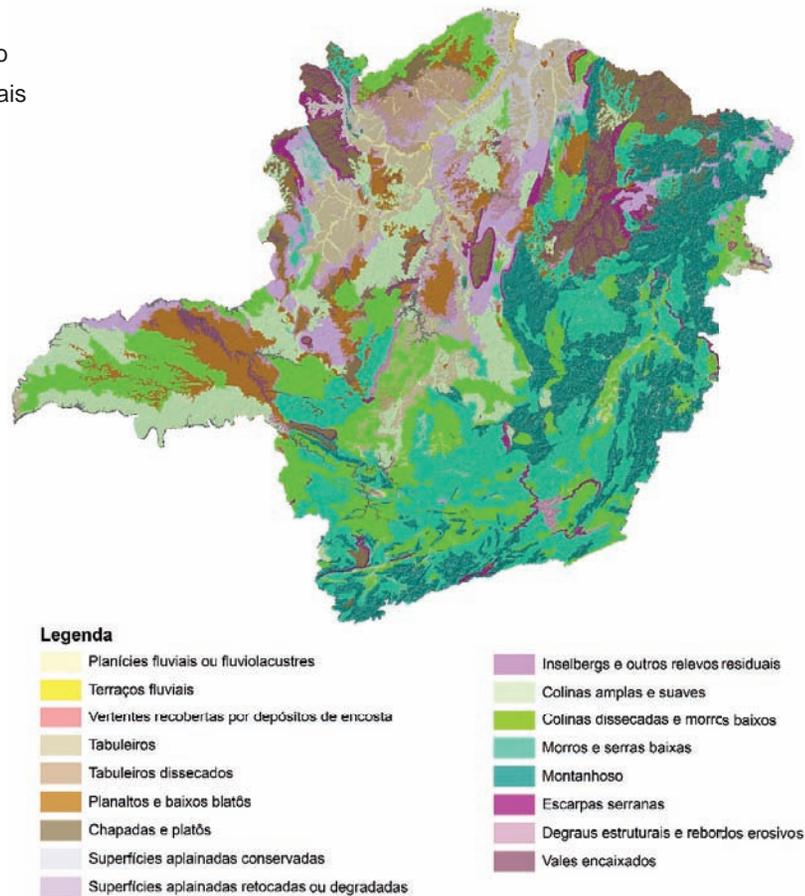


Figura 2.7 - Mapa de padrões de relevo do estado de Minas Gerais.

Esses padrões de relevo têm ocorrência localizada no estado. Apresentam amplitude variável (depende da extensão do depósito na encosta) e inclinações das vertentes entre 5-20°, quando associados às rampas de colúvio, e entre 20-45°, quando associados aos cones de tálus.

### Domínio das unidades denudacionais em rochas sedimentares pouco litificadas

Domínio composto por dois padrões de relevo, que correspondem a relevos de degradação em rochas sedimentares.

- Tabuleiros (R2a1)

Constituem formas suavemente dissecadas. São superfícies extensas, gradientes suaves, topos planos e alongados e vertentes retilíneas nos vales encaixados em forma de "U". Apresentam amplitude de relevo que varia de 20 a 50 m e inclinações de vertentes entre 0-3° e topos planos. Localmente, podem existir vertentes com inclinações superiores, entre 10-25°.

Nessas formas de relevo há predomínio de processos de pedogênese (formação de solos espessos e bem drenados). De forma restrita, podem ocorrer processos de erosão laminar ou linear acelerada (sulcos e ravinas).

- Tabuleiros dissecados (R2a2)

Constituem formas tabulares. São dissecadas por uma rede de drenagem com alta densidade, apresentando relevo movimentado de colinas com topos tabulares ou alongados e vertentes retilíneas e declivosas nos vales encaixados, resultantes da dissecação fluvial recente. Apresentam amplitude de relevo que varia de 20 a 50 m, inclinação de vertentes entre 0-3° e topos planos restritos. Assim como as formas de tabuleiros, localmente podem existir vertentes com inclinações superiores, entre 10-25°.

Nessas formas de relevo, há predomínio de processos de pedogênese, sendo a ocorrência de processos de erosão laminar ou linear acelerada (sulcos e ravinas) mais comum.

### Domínio das unidades denudacionais em rochas sedimentares litificadas

Domínio composto por dois padrões de relevo, que correspondem a relevos de degradação em rochas sedimentares.

- Planaltos e baixos platôs (R2b)

Constituem superfícies ligeiramente mais elevadas que os terrenos adjacentes. São formas tabulares ou colinas muito amplas, pouco dissecadas, com sistema de drenagem principal em franco entalhamento e deposição de planícies aluviais restritas ou em vales fechados. Apresentam amplitude de relevo entre 0 e 50 m, inclinação de vertentes que varia entre 2-5° e topo plano a suavemente ondulado.

Nessas formas de relevo, há predomínio de processos de pedogênese, com eventual atuação de processos de laterização. De forma localizada, nos planaltos, podem ocorrer processos de erosão laminar ou linear acelerada (ravinas e voçorocas).

Os planaltos são formas de relevo caracterizadas como formas de degradação predominantemente em rochas sedimentares, mas também sobre rochas cristalinas.

- Chapadas e platôs (R2c)

Constituem superfícies tabulares alçadas, ou relevos soerguidos. São formas planas ou aplainadas, não ou incipientemente pouco dissecadas. Exibem rebordos posicionados em cotas elevadas, delimitados por vertentes íngremes a escarpadas. Apresentam amplitude de relevo que varia de 0 a 20 m e topos planos.

Nessas formas de relevo, há franco predomínio de processos de pedogênese, com frequente atuação de processos de laterização e ocorrências esporádicas de processos de erosão laminar ou linear acelerada (ravinas e voçorocas).

### Domínio dos relevos de aplainamento

Domínio composto por três padrões de relevo, que correspondem a relevos de aplainamento.

- Superfícies aplainadas conservadas (R3a1)

Constituem superfícies planas a levemente onduladas, geradas por processo de arrasamento geral dos terrenos. São formas que apresentam amplitude de relevo entre 0 e 10 m e inclinação de vertentes que variam de 0 a 5°.

Essas formas de relevo apresentam equilíbrio entre os processos de pedogênese e morfogênese. Por exibirem baixas declividades, são gerados solos rasos e pedregosos. Os processos de erosão laminar são significativos.

- Superfícies aplainadas retocadas ou degradadas (R3a2)

Constituem superfícies planas a levemente onduladas, geradas por processo de arrasamento geral dos terrenos. São formas que apresentam amplitude de relevo entre 0 e 10 m e inclinação de vertentes que varia de 0 -5°.

Essa forma de relevo caracteriza-se por um relevo suave ondulado extenso e monótono. Porém, não constitui um ambiente colinoso, devido às amplitudes de relevo muito baixas e longas rampas de muito baixa declividade.

- *Inselbergs* e outros relevos residuais (R3b)

Correspondem a cristas isoladas, morros-testemunhos, pontões e monólitos. São relevos residuais isolados destacados na paisagem aplainada, remanescentes do arrasamento geral dos terrenos. Apresentam amplitude de relevo entre 50 e 200 m, inclinação das vertentes que varia de 25-45° e ocorrência de paredões rochosos subverticais (60-90°).

## Domínio das unidades denudacionais em rochas cristalinas ou sedimentares

Domínio composto por oito padrões de relevo, que correspondem a relevos denudacionais. As formas desse domínio caracterizam-se por se tratar de padrões de relevos de degradação em qualquer litologia, à exceção dos padrões de vales encaixados e de colinas amplas e suaves, nos quais a degradação é predominantemente em rocha sedimentar.

- Colinas amplas e suaves (R4a1)

Constituem formas pouco dissecadas, com vertentes convexas e topos amplos, de morfologia tabular ou alongada. Apresentam sistema de drenagem principal com deposição de planícies aluviais relativamente amplas. Exibem amplitude de relevo que varia de 20 a 50 m e inclinação de vertentes entre 3-10°.

Há predomínio de processos de pedogênese, com ocorrência restrita de processos de erosão laminar ou linear acelerada (ravinas e voçorocas). Pode ocorrer geração de rampas de colúvios nas baixas vertentes.

- Domínio de colinas dissecadas e de morros baixos (R4a2)

Constituem colinas dissecadas, com vertentes convexo-côncavas e topos arredondados ou aguçados. Sistema de drenagem principal com deposição de planícies aluviais restritas ou em vales fechados. Exibem amplitude de relevo que varia de 30 a 80 m e inclinação de vertentes de 5-20°.

Há equilíbrio entre processos de pedogênese e morfogênese (formação de solos espessos e bem drenados). Atuação frequente de processos de erosão laminar e ocorrência esporádica de processos de erosão linear acelerada (sulcos, ravinas e voçorocas). Pode ocorrer geração de rampas de colúvios nas baixas vertentes.

- Domínio de morros e de serras baixas (R4b)

Correspondem a morros convexo-côncavos dissecados com topos arredondados ou aguçados. Também se inserem nessa unidade morros de topo tabular (característico das chapadas intensamente dissecadas) e de topos planos. Esse padrão de relevo apresenta sistema de drenagem principal com planícies aluviais restritas. Exibem amplitude de relevo que varia de 80 a 200 m e inclinação das vertentes entre 15-35°.

Nesse padrão de relevo há predomínio de processos de morfogênese (formação de solos pouco espessos em terrenos declivosos), além da atuação frequente de processos de erosão laminar e linear acelerada (sulcos e ravinas), com ocorrência esporádica de processos de movimentos de massa. Pode ocorrer geração de colúvios e, subordinadamente, depósitos de tálus nas baixas vertentes.

- Domínio montanhoso (R4c)

Correspondem a alinhamentos serranos, maciços montanhosos, *front* de *cuestas* e *hogback*. São formas muito

acidentadas, com vertentes predominantemente retilíneas a côncavas, escarpadas e topos de cristas alinhadas, aguçados ou levemente arredondados, com sedimentação de colúvios e depósitos de tálus. Exibem sistema de drenagem principal em franco processo de entalhamento. Apresentam amplitude de relevo acima de 300 m, podendo apresentar, localmente, desnivelamentos inferiores a essa medida. As inclinações de vertentes variam entre 25-45°, com possível ocorrência de paredões rochosos subverticais (60-90°).

Nesse padrão de relevo há franco predomínio de processos de morfogênese (formação de solos rasos em terrenos muito acidentados), além da atuação frequente de processos de erosão laminar e de movimentos de massa. Pode haver geração de depósitos de tálus e de colúvios nas baixas vertentes

- Escarpas serranas (R4d)

Corresponde a um relevo montanhoso, muito acidentado, com vertentes predominantemente retilíneas a côncavas, escarpadas, assim como topos de cristas alinhadas, aguçados ou levemente arredondados, com sedimentação de colúvios e depósitos de tálus. Apresentam sistema de drenagem principal em franco processo de entalhamento, amplitudes acima de 300 m e inclinação de vertentes entre 25-45°, com ocorrência de paredões rochosos subverticais (60-90°).

Predomina o processo de morfogênese (formação de solos rasos em terrenos muito acidentados), com ocorrência frequente de processos de erosão laminar e de movimentos de massa. Pode ocorrer geração de depósitos de tálus e de colúvios nas baixas vertentes.

- Degraus estruturais e rebordos erosivos (R4e)

São formas acidentadas, constituídas por vertentes predominantemente retilíneas a côncavas, declivosas e topos levemente arredondados, com sedimentação de colúvios e depósitos de tálus. Exibem sistema de drenagem principal em franco processo de entalhamento, amplitude de relevo entre 50 e 200 m e inclinação de vertentes de 10-25°, com ocorrência de vertentes muito declivosas (acima de 45°).

Nesse padrão de relevo há franco predomínio de processos de morfogênese (formação de solos rasos), com atuação frequente de processos de erosão laminar e de movimentos de massa. Depósitos de tálus e de colúvios podem ser gerados nas baixas vertentes.

Os padrões R4d e R4e caracterizam relevos de transição entre duas superfícies distintas alçadas a diferentes cotas altimétricas.

- Vales encaixados (R4f)

Consistem de feições de relevo fortemente entalhadas pela incisão vertical da drenagem formando vales encaixados e incisos sobre planaltos e chapadas. São formas constituídas por vertentes predominantemente retilíneas a côncavas, fortemente sulcadas, declivosas, com sedimentação de colúvios e depósitos de tálus. Apresentam sistema de drenagem principal

em franco processo de entalhamento, amplitudes entre 100 e 300 m e inclinação de vertentes de 10-25°, com possíveis ocorrências de vertentes muito declivosas (acima de 45°).

Em geral, essas formas de relevo indicam uma retomada erosiva recente em processo de reajuste ao nível de base regional. Há predomínio de processos de morfogênese (formação de solos rasos), com atuação frequente de processos de erosão laminar e de movimentos de massa.

Com o objetivo de facilitar a descrição das unidades geológico-ambientais, os relevos anteriormente descritos foram agrupados em nove padrões (Figura 2.8 e Quadro 2.1). Cabe ressaltar que, para a legenda do Mapa Geodiversidade do Estado de Minas Gerais, esse agrupamento não foi adotado.

## PANORAMA DA PESQUISA E DO POTENCIAL PETROLÍFERO

O potencial petrolífero de uma região está primariamente relacionado à existência, extensão e espessura de seu pacote sedimentar. Nesse aspecto, o estado de Minas Gerais tem em seu território parte de duas bacias sedimentares, que correspondem a uma porção da borda leste da Bacia do Paraná e à região sul da Bacia do São Francisco (Figura 2.9).

Em observância à lei vigente que regula a concessão de áreas visando à pesquisa e produção de petróleo e gás, a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) fiscaliza atualmente (janeiro de 2010), no estado de Minas Gerais, 42 concessões exploratórias (Tabela 2.1; Figura 2.10).

Ao longo da história de exploração da região, foi coletado um volume considerável de dados geológicos e geofísicos, cuja localização é apresentada nas figuras 2.11 e 2.12.

A ANP atua na busca pelo aumento das reservas petrolíferas brasileiras não apenas por meio das concessões, como também de seus planos plurianuais de estudos de geologia e geofísica (PPA de G&G) (ANP, 2009). O plano atual, que compreende os anos de 2007 a 2011, vem possibilitando a aquisição de dados novos, por exemplo, por meio de aerolevantamento gravimétrico e magnetométrico na porção norte da Bacia do Paraná, de dois aerolevantamentos geofísicos na Bacia do São Francisco, estando também em execução a aquisição de novos dados sísmicos 2D de dimensões regionais na porção norte dessa bacia, dentre outros projetos já concluídos.

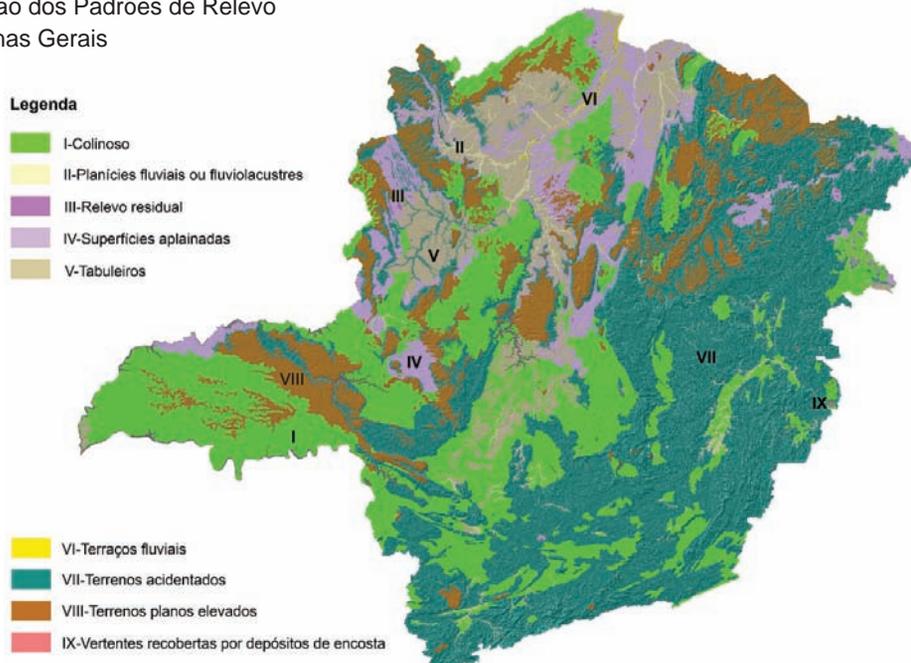
Está também planejado um levantamento magnetotélúrico na Bacia do Paraná, na tentativa de, mediante a integração com dados sísmicos e de poços, visualizar as camadas situadas abaixo do espesso pacote de vulcânicas que até então vem camuflando o verdadeiro potencial petrolífero da bacia. Igualmente, estão previstas as perfurações de poços estratigráficos nas bacias do Paraná e São Francisco (Figura 2.13).

## Bacia do Paraná

Segundo Milani e Thomaz Filho (2000), a Bacia Intracratônica do Paraná localiza-se na porção centro-leste da América do Sul e abrange uma área de 1.700.000 km<sup>2</sup>, dos quais aproximadamente 1.050.000 km<sup>2</sup> se encontram em território brasileiro. Porém, apenas a parte do extremo leste da bacia se encontra no território do estado de Minas Gerais (Figura 2.9).

O depocentro da bacia corresponde a um pacote sedimentar-magmático da ordem de 7.500 m de espessura, incluindo alguns horizontes com características de rochas geradoras e outros com atributos de reservatório. O registro

## Compartimentação dos Padrões de Relevo do Estado de Minas Gerais



**Figura 2.8** - Compartimentação do estado de Minas Gerais em padrões de relevos agrupados.

**Quadro 2.1** - Agrupamento dos padrões de relevo utilizados para caracterização das unidades geológico-ambientais do estado de Minas Gerais.

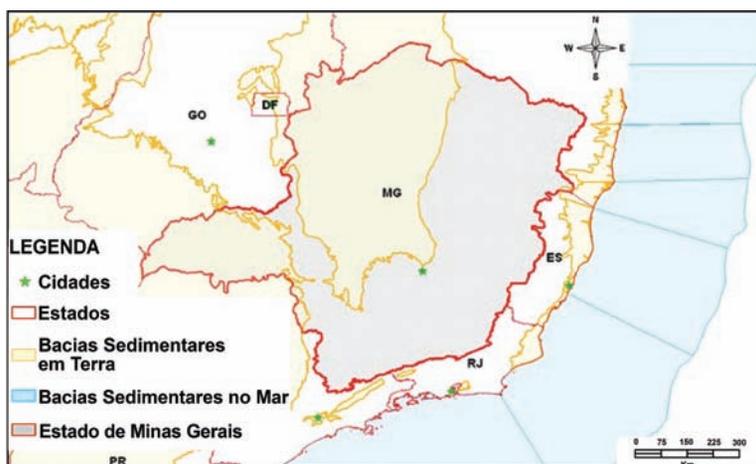
Padrões de Relevo Detalhados	Agrupamento de Padrões
Planícies fluviais ou fluviolacustres (R1a)	Planícies fluviais ou fluviolacustres
Terraços fluviais (R1b1)	Terraços fluviais
Vertentes recobertas por depósitos de encosta (R1c)	Vertentes recobertas por depósitos de encosta
Tabuleiros (R2a1)	Tabuleiros
Tabuleiros dissecados (R2a2)	
Planaltos e baixos platôs (R2b1)	Terrenos planos elevados
Chapadas e platôs (R2c)	
Superfícies aplainadas conservadas (R3a1)	
Superfícies aplainadas degradadas (R3a2)	Superfícies aplainadas
<i>Inselbergs</i> e outros relevos residuais (R3b)	Relevo residual
Domínio de colinas amplas e suaves (R4a1)	Colinoso
Domínio de colinas dissecadas e de morros baixos (R4a2)	
Domos em estrutura elevada (R4a3)	Terrenos acidentados
Domínio de morros e de serras baixas (R4b)	
Domínio montanhoso (R4c)	
Escarpas serranas (R4d)	
Degraus estruturais e rebordos erosivos (R4e)	
Vales encaixados (R4f)	

tectonoestratigráfico da bacia sugere a interação de fenômenos orogênicos nas bordas da Placa Sul-Americana, com eventos epirogênicos marcados por épocas de subsidência, soerguimento e magmatismo no interior da placa (MILANI e RAMOS, 1998).

Conforme o relatório de integração elaborado por Sampaio et al. (1998), o interesse pelo potencial petrolífero da Bacia do Paraná iniciou no final do século XIX, quando foram identificadas ocorrências de arenitos asfálticos no flanco leste da bacia, motivando trabalhos pioneiros de sondagem. Ainda no final do século XIX, entre 1892 e 1897, na localidade de Bofete, no estado de São Paulo, foi perfurado o primeiro poço para a exploração de petróleo no Brasil. O poço alcançou aproximadamente 500 m de profundidade e, segundo relatos, teria recuperado dois barris de petróleo.

No início, as atividades exploratórias na bacia foram direcionadas para locações de poços pouco profundos (inferiores a 1.000 m) em áreas não cobertas pelos basaltos e nas proximidades das ocorrências superficiais de óleo (ZALÁN et al., 1990). Entretanto, a partir

da década de 1950, com a criação da Petrobras, iniciou-se intensa pesquisa sistemática e organizada da bacia. Durante esse período, foram realizados levantamentos geofísicos, incluindo levantamentos magnéticos, gravimétricos e sísmica 2D e 3D. Os levantamentos magnéticos cobrem grande área da bacia e totalizam aproximadamente 470.000 km. Já a malha

**Figura 2.9** - Bacias sedimentares existentes no estado de Minas Gerais.

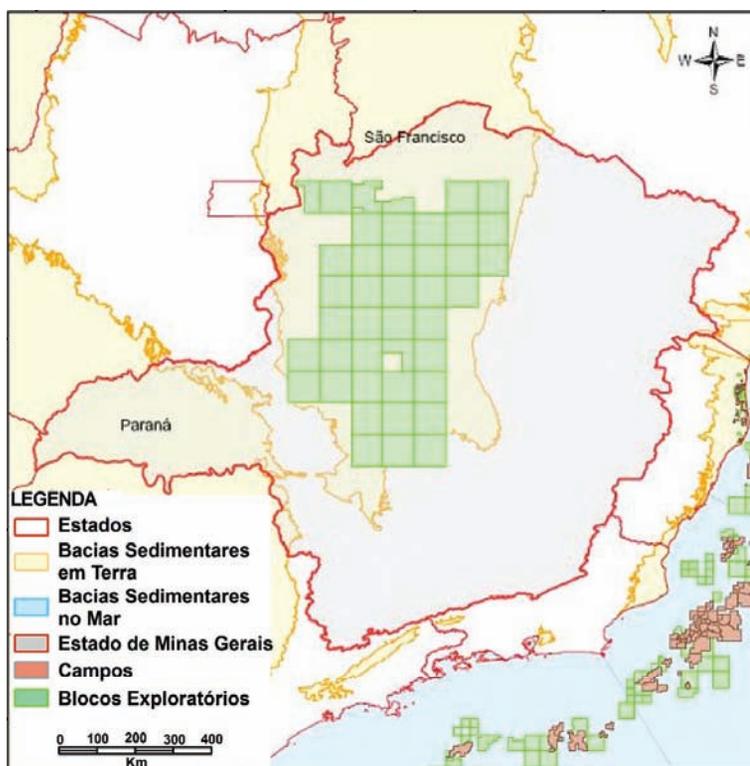
**Tabela 2.1** - Áreas concedidas para produção e exploração de petróleo no estado de Minas Gerais.

Blocos Exploratórios					
Contrato	Bacia	Nº Blocos	Assinatura	Licitação	Operador
BT-SF-2	São Francisco	6	12.01.2006	7	Petrobras
BT-SF-3	São Francisco	10	12.01.2006	7	M&S Brasil
BT-SF-3A	São Francisco	12	12.01.2006	7	Petra Energia
BT-SF-5	São Francisco	1	12.01.2006	7	Orteng
BT-SF-6	São Francisco	1	12.01.2006	7	Cisco Oil and Gas
BT-SF-7	São Francisco	1	19.03.2008	7	Petra Energia
BT-SF-8	São Francisco	1	08.07.2008	7	Petra Energia
BT-SF-9	São Francisco	1	08.07.2008	7	Petra Energia
SF-T-104_R10	São Francisco	1	30.06.2009	10	Comp E&P
SF-T-114_R10	São Francisco	1	30.06.2009	10	Comp E&P
SF-T-120_R10	São Francisco	1	30.06.2009	10	Comp E&P
SF-T-127_R10	São Francisco	1	30.06.2009	10	Orteng
SF-T-80_R10	São Francisco	1	30.06.2009	10	Shell
SF-T-81_R10	São Francisco	1	30.06.2009	10	Shell
SF-T-82_R10	São Francisco	1	30.06.2009	10	Shell
SF-T-83_R10	São Francisco	1	30.06.2009	10	Shell
SF-T-93_R10	São Francisco	1	30.06.2009	10	Shell

Fonte: ANP-SIGEP (jan./2010).

sísmica disponível é esparsa, perfazendo um total de 36.000 km, dos quais cerca de 18.000 km lineares foram adquiridos entre 1986 e 2001. A bacia possui ainda 124 poços exploratórios, sendo que 80 deles foram perfurados sem o apoio de dados sísmicos. Os levantamentos gravimétricos se estendem desde a parte central até a parte leste/nordeste da bacia, enquanto a maior parte de toda a bacia foi coberta por levantamentos magnetométricos. A ANP, no entanto, está fazendo a cobertura gravimétrica e magnetométrica de toda a porção norte da bacia, o que inclui o extremo oeste do estado de Minas Gerais.

Os poços perfurados na bacia apresentam distribuição irregular, concentrando-se principalmente no estado do Paraná. Até o momento, nenhum poço foi perfurado nessa bacia na área que corresponde ao estado de Minas Gerais, sendo a densidade dos furos muito baixa, com um furo a cada 9.000 km<sup>2</sup>. Do total perfurado, 16 poços apresentaram indicação de gás, cinco de óleo e dois de gás e condensado; 87 poços são classificados como secos, sem indicação de óleo ou gás. Os melhores resultados incluem os poços 1-BB-1-PR (Barra Bonita) e 1-MR-1-

**Figura 2.10** - Áreas concedidas como blocos no estado de Minas Gerais.

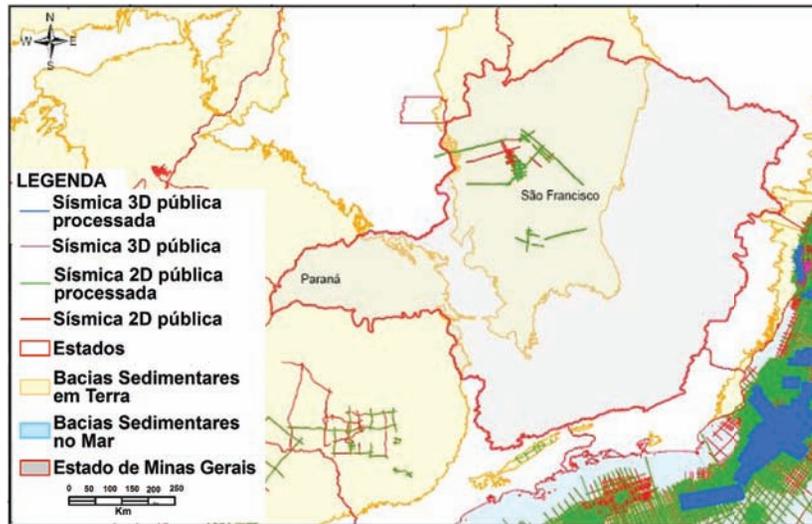


Figura 2.11 - Levantamentos sísmicos no estado de Minas Gerais.

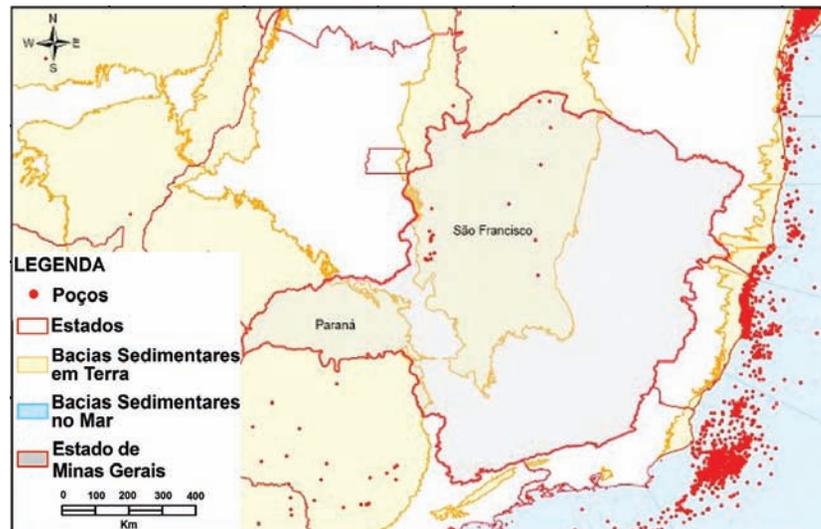


Figura 2.12 - Poços perfurados no estado de Minas Gerais.

PR (Mato Rico), localizados na porção central da bacia, que produziram gás em teste. O poço de Barra Bonita é classificado como descobridor e os testes de avaliação mostraram produtividade superior a 200.000 m<sup>3</sup>/dia em cada um dos dois poços perfurados na área (CAMPOS et al., 1998). O campo de gás de Barra Bonita entrou em produção em 2009. O poço 1-MR-1-PR (Mato Rico), depois de estimulado, passou de uma vazão de 10.000 m<sup>3</sup>/dia para 300.000 m<sup>3</sup>/dia.

Na Figura 2.14 é mostrada a localização dos poços da Bacia do Paraná que apresentaram ocorrências de hidrocarbonetos, com destaque para os seguintes poços: 1-RCA-1-PR, que recuperou gás em teste de formação em arenito da Formação Ponta Grossa, queimando com chama de 1,5 m; 1-BB-1-PR (Barra Bonita); 1-MR-1-PR (Mato Rico).

Com base no debate desenvolvido durante o *workshop* sobre a Bacia do Paraná, realizado em abril de 2008 pela ANP, e diante de um quadro com inúmeras possibilidades

exploratórias, a ANP está realizando, além do levantamento aerogeofísico, um importante sísmico 2D de escala regional, e prevê a perfuração de um poço estratigráfico que tem por objetivo amostrar a coluna sedimentar no depocentro da bacia.

### Bacia do São Francisco

A Bacia do São Francisco é uma bacia proterozoica cujos limites adotados são: oeste – Faixa de Dobramentos Brasília; leste – Faixa de Dobramentos Araçuai; norte – Arco do São Francisco; sul – Arco do Alto Parnaíba. Boa parte da porção norte da Bacia do São Francisco está situada na face oeste do estado da Bahia. Seu preenchimento sedimentar é representado, principalmente, por rochas metassedimentares mesoproterozoicas e neoproterozoicas.

De acordo com o relatório de integração elaborado por Sampaio et al. (1998), as primeiras avaliações do potencial

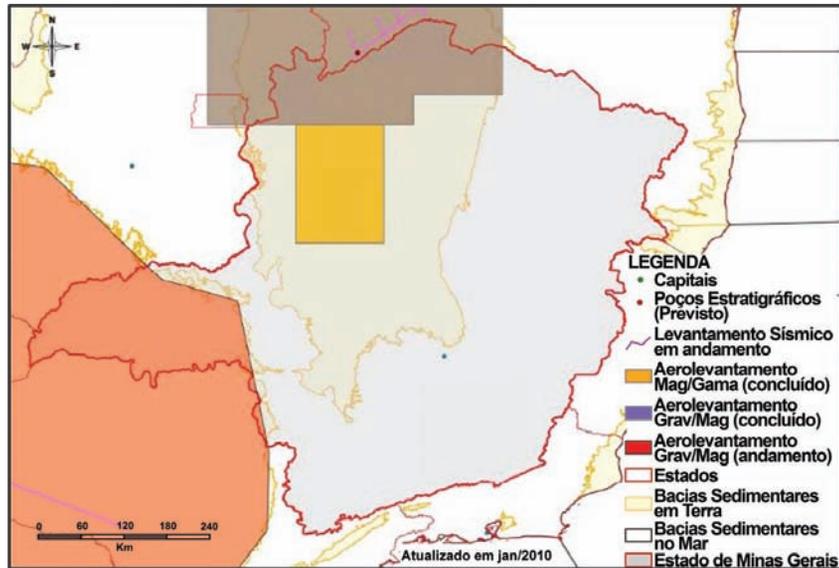


Figura 2.13 - Mapa de localização dos projetos do plano plurianual de geologia e geofísica da ANP.

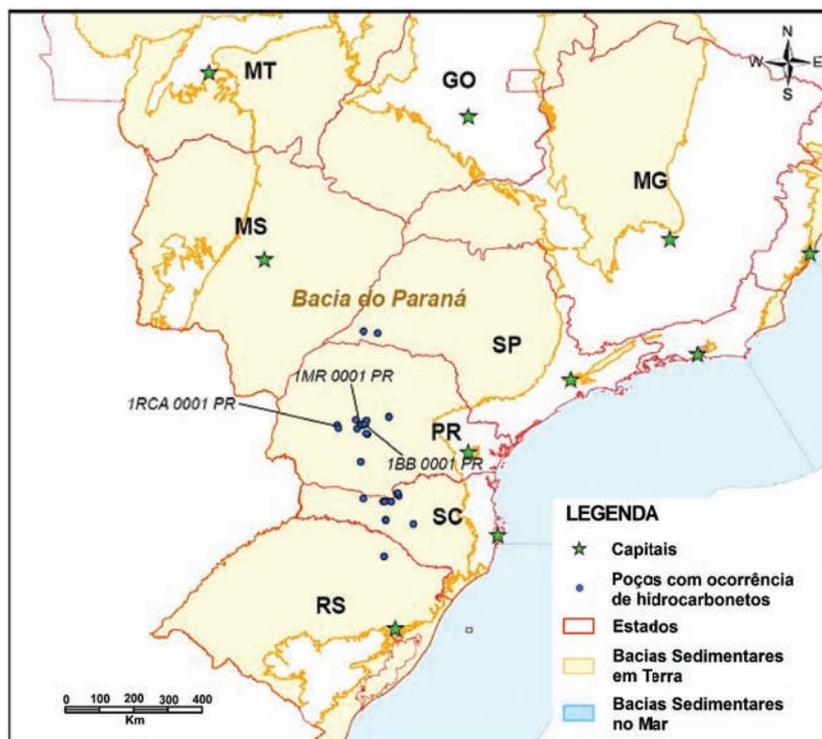


Figura 2.14 - Mapa de localização dos poços com ocorrências de hidrocarbonetos na bacia do Paraná.

petrolífero da bacia começaram na década de 1960, quando a Petrobras decidiu avaliar o potencial petrolífero da região, realizando ali algumas campanhas exploratórias, baseando-se em informações sobre a existência de significativas reservas de petróleo em bacias proterozoicas em outros países e na presença de exsudações de gás em Minas Gerais. Os resultados desses trabalhos iniciais indicaram baixa prospectividade para os carbonatos do Grupo Bambuí. No entanto, em

1970, constatou-se uma emanção de gás termoquímico em um poço do Departamento Nacional de Obras contra as Secas (DNOCS), perfurado para água, nas proximidades de Montalvânia (MG); todavia, as pesquisas permaneceram desativadas até 1976, quando novas avaliações consideraram as perspectivas para a pesquisa de gás.

Na década de 1980, a constatação de inúmeras exsudações superficiais de gás, em áreas de afloramento do Grupo

Bambuú, reacendeu o interesse exploratório na região. Foram retomadas as pesquisas de campo, catalogando-se várias dessas exsudações, com destaque para a de Remanso do Fogo (Buritizeiro, MG). Durante esse período, a Shell Exploration Services executava o primeiro levantamento sísmico na porção norte da bacia sob contrato de risco. Em 1988/1989, foram perfurados três poços profundos visando à obtenção de informações quanto aos possíveis reservatórios e geradores da bacia para o *play* Bambuú (formações Sete Lagoas e Lagoa do Jacaré). Em reservatórios carbonáticos nas proximidades de Remanso do Fogo (poço 1-RF-1-MG) e Montalvânia (1-MA-1-MG), constataram-se vazões subcomerciais de gás. Esses resultados levaram à realização de levantamentos gravimétricos, de sísmica de reflexão (490 km<sup>2</sup>) e magnetotelúricos (43 estações) em uma área de cerca de 22.000 km<sup>2</sup>, nas proximidades do poço 1-RF-1-MG, atualmente localizado no bloco SF-T-103 concedido na 7ª Rodada de Licitações promovida pela ANP. Nessa época, a empresa Metais de Minas Gerais (METAMIG) reportou exsudações de gás importantes, destacando-se a do rio Indaiá, próxima à represa de Três Marias. Em 1994, foram adquiridos 266 km de sísmica 2D na porção norte da bacia, na região de Barreiras (BA) e dados magnetotelúricos, com 13 estações, sendo também verificadas exsudações em outros poços de água, como em Alvorada do Norte (GO) (Figura 2.15).

Foram perfurados quatro poços exploratórios na bacia: 1-MA-1-MG, 1-RF-1-MG, 1-FLU-1-BA e 1-RC-1-GO, sendo

que os três primeiros recuperaram gás em teste de formação. Foram também perfurados 18 poços pela CPRM/SGB no Projeto Sondagem do Bambuú, realizado de 1976 a 1980.

Mais recentemente, por ocasião das 7ª e 10ª rodadas de licitações promovidas pela ANP, foram arrematadas várias concessões exploratórias na porção mineira, sul da Bacia do São Francisco. Diante do interesse demonstrado pela indústria na porção sul, a ANP vem investindo na pesquisa e coleta de dados básicos na porção norte da bacia, tendo realizado levantamentos geofísicos aéreos (concluído) e sísmico 2D regional (concluindo aquisição de dados), visando a futuras licitações de concessões exploratórias.

A presença de vazões de gás em três dos quatro poços exploratórios perfurados e as inúmeras exsudações de gás, naturais ou em poços de água, atestam a boa perspectiva exploratória da bacia. Os dados disponíveis até o momento permitem inferir que o maior potencial da Bacia do São Francisco é para a produção de gás natural. Futuras descobertas em volumes comerciais poderão ser aproveitadas por usinas termelétricas, indústria mineral, siderúrgica e polos petroquímicos.

Diante do potencial das bacias sedimentares existentes no estado de Minas Gerais, ainda que em estágio inicial de pesquisa exploratória, entende-se que a região é privilegiada e estratégica com relação à prospecção de hidrocarbonetos, principalmente gás.

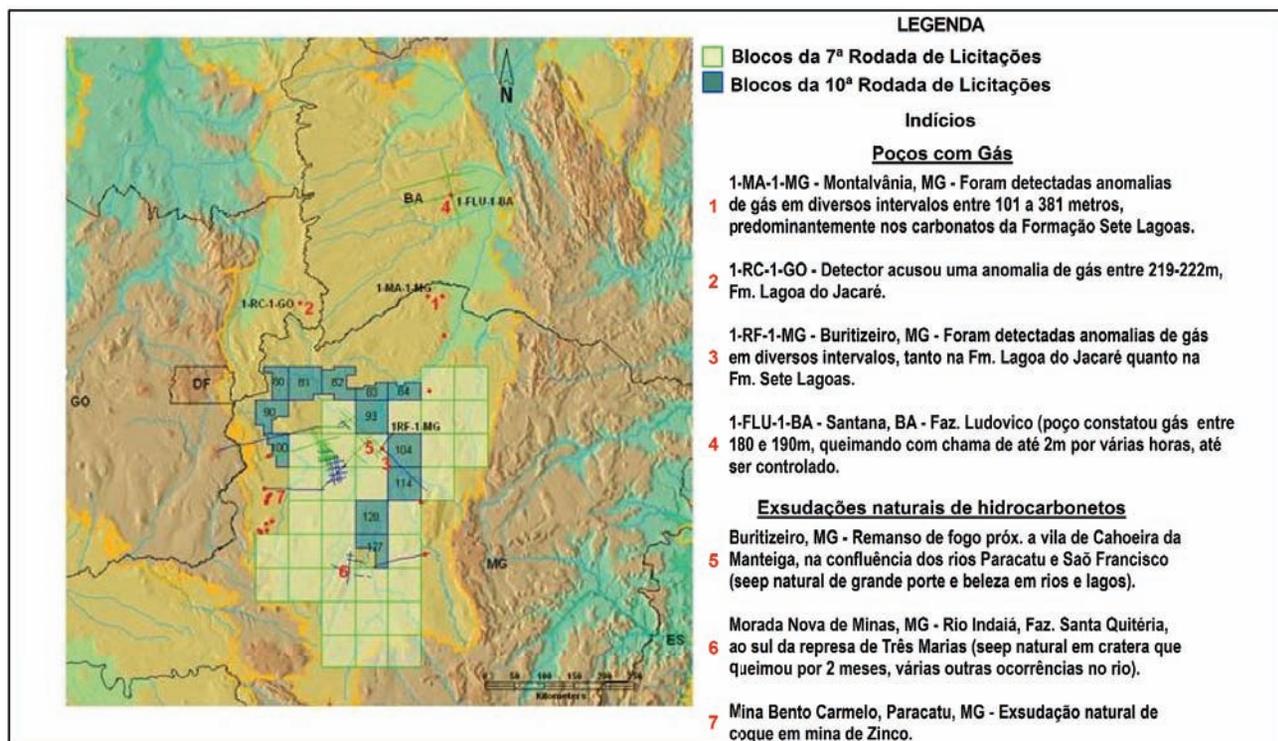


Figura 2.15 - Mapa de localização dos indícios de hidrocarbonetos na bacia do São Francisco.

## REFERÊNCIAS

- ALKMIM, F. F.; MARTINS-NETO, M. A. A bacia intracratônica do São Francisco: arcabouço estrutural e cenários evolutivos. In: PINTO, C. P.; MARTINS-NETO, M. A. (Eds.). **A bacia do São Francisco: geologia e recursos naturais**. Belo Horizonte: SBG, 2001, p. 9-30.
- ALMEIDA, F. F. M. de. O cráton do São Francisco. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 7, n. 4, p. 349-364, 1977.
- ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B. B.; FUCK, R. A. Províncias estruturais brasileiras. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 8., 1977, Campina Grande. **Atas...** Campina Grande: SBG, 1977. p. 363-391.
- ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B. B.; FUCK, R. A. Brazilian structural provinces: an introduction. **Earth Science Review**, Amsterdã, v. 17, n. 1, p. 1-29, 1981.
- ANP. **Plano plurianual de geologia e geofísica**. Brasília: Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2009. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?pg=4745>>. Acesso em: 2009.
- BAPTISTA, M. C. **Estratigrafia e evolução geológica da região de Lagoa Formosa (MG)**. 2004. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.
- BARBOSA, O.; BRAUN, O. P. G.; DYER, R. C.; CUNHA, C. A. B. R. **Geologia da região do Triângulo Mineiro**. Rio de Janeiro: DNPM-DFPM, 1970. Bol. 136, 140 p.
- BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; GONÇALVES, J. H.; BAARS, F. J.; DELGADO, I. M.; ABRAM, M. B.; LEÃO NETO, R.; GERSON, M. M. M.; SANTOS, J. O. S. (Eds.). **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil**. Brasília: CPRM, 2003. 673 p. [Texto, mapas & SIG].
- BRAUN, O. P. G. Contribuição à geomorfologia do Brasil central. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 32, n. 3, p. 3-39, jul./set. 1971.
- BRITO-NEVES, B. B. **De Rodínia a Gondwana**. São Francisco/Congo: placa, continente/península, cráton e antepaís. In: COMIG. Nota explicativa dos mapas Geológico, Metalogenético e de Ocorrências Minerais do estado de Minas Gerais. Escala 1:1.000.000. Belo Horizonte: Companhia Mineradora de Minas Gerais, 1994.
- CAMPOS, L.; MILANI, E.; TOLEDO M.; QUEIROZ, R.; CATTO, A.; SELKE, S. **Barra Bonita**: a primeira acumulação comercial de hidrocarbonetos da bacia do Paraná. In: RIO OIL AND GAS CONFERENCE. IBP. 1998.
- CHOUDHURI, A. et al. High-grade mafic migmatite from SW Minas Gerais: an example of amphibolite melting. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37., 1992, São Paulo. **Anais...** São Paulo: SBG-SP, 1992. v. 1, p. 423-424.
- COSTA, M. T.; BRANCO, J. J. R. Roteiro da excursão Belo Horizonte-Brasília. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 14., 1961, Belo Horizonte. **Roteiro de excursões...** Belo Horizonte: SBG, 1961. 25 p. (Publicação 15).
- DARDENNE, M. A. The Brasília fold belt. In: CORDANI, U. G.; MILANI, E. J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS, D. A. **Tectonic evolution of South America**. CONGRESSO INTERNACIONAL DE GEOLOGIA, 31., 2000, Rio de Janeiro. **Anais...** p. 231-263.
- DARDENNE, M. A. Síntese sobre a estratigrafia do grupo Bambuí no Brasil central. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30., 1978, Recife. **Anais...** Recife: SBG, 1978. v. 2, p. 597-610.
- DARDENNE, M. A.; GONZAGA, G. M.; CAMPOS, J. E. G. Descoberta de pavimentos estriados de origem glacial sobre arcóseos da formação Três Marias, na região de Santa Fé de Minas, MG. **Revista Escola de Minas**, v. 54, n. 4, p. 65-66, 1990.
- DORR, J. V. N. **Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil**. Washington: DNPM/USGS, 1969. (Prof. Paper 641-A). 109 p.
- DORR II, J. V. N.; HERZ, N.; BARBOSA, A. L. M.; SIMONS, G. C. **Esboço geológico do Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais, Brasil**. Rio de Janeiro: DNPM, 1959. [Publ. Esp. n. 1]. 120 p.
- DOSSIN, I. A.; DUSSIN, T. M. Supergrupo Espinhaço: modelo de evolução geodinâmica. **Geonomos**, v. 3, n. 1, p. 19-26, 1995.
- DOSSIN, I. A. et al. Geologia da faixa móvel Espinhaço em sua porção meridional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., 1984, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBG-RJ, 1984. v. 7, p. 3118-3132.
- FERNANDES, L. A. **A cobertura cretácea suprabasáltica no Paraná e Pontal do Paranapanema (SP): os grupos Bauru e Caiuá**. 1992. 129 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências da Universidade São Paulo, São Paulo.

FIUMARI, S. L. et al. Complexo granulítico de Passatempo. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 3., 1985, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SBG-MG, 1985. Bol. 5, p. 60-67.

GROSSI SAD, J. H. et al. Geoquímica e origem da formação ferrífera do grupo Guanhães, distrito de Guanhães, MG, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., 1990, Natal. **Anais...** Natal: SBG-NE. 1990. v. 3, p. 1241-1253.

HARALYI, N. L. E.; HASUI, Y. **The gravimetric information and archean-proterozoic structural framework of eastern Brazil.** In: COMIG. Nota explicativa dos mapas Geológico, Metalogenético e de Ocorrências Minerais do estado de Minas Gerais. Escala 1:1.000.000. Belo Horizonte: Companhia Mineradora de Minas Gerais, 1994.

HASUI, Y.; OLIVEIRA, M. A. F. Província Mantiqueira, setor central. In: ALMEIDA, F. F. M. de; HASUI, Y. (Coords.). **O pré-cambriano do Brasil.** São Paulo: Edgard Blücher, 1984. Cap. 7, p. 308-344.

KARFUNKEL, J.; HOPPE, A. Late precambrian glaciation in central-eastern Brazil: synthesis and model.

**Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology**, n. 65, p. 1-21, 1988.

KING, L. C. A. Geomorfologia do Brasil oriental. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 18, p. 147-265, 1956.

LADEIRA, E. A. Gênese do ouro da mina de Morro Velho e no distrito de Nova Lima. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., 1980, Camboriú. **Anais...** Camboriú: SBG, 1980. v. 2, p. 371.

LIMA, O. N. B. de; MORATO, L. **Contribuições à estratigrafia dos grupos Ibiá e Canastra na região oeste do município de Guarda-Mor.** 2003. 78 f. Trabalho de Geologia (Graduação em Geologia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.

MACHADO, N.; SCHRANK, A.; NOCE, C. M.; GAUTHIER, G. Ages of detrital zircon from Archean-Paleoproterozoic sequences: implications for Greenstone Belt setting and evolution of a Transamazonian foreland basin in Quadrilátero Ferrífero, southeast Brazil.

**Earth Planet. Sci. Lett.**, v. 141, p. 259-276, 1996.

MACHADO, N.; SCHRANK, A.; ABREU, F. R.; KNAUER, L. G.; ABREU, P. A. A. Resultados preliminares da geocronologia U/Pb na serra do Espinhaço meridional. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 5., 1989, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SBG-MG, 1989. Bol. 10, p. 171-174.

MARTINS, M. S. **Geologia dos diamantes e carbonados aluvionares da bacia do rio Macaúbas, MG.** 2006. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

MARTINS-NETO, M. A.; ALKMIM, F. F. Estratigrafia e evolução tectônica das bacias neoproterozoicas do paleocontinente São Francisco e suas margens: registro da quebra de Rodínia e colagem de Gondwana. In: PINTO, C. P.; MARTINS-NETO, M. A. (Eds.). **A bacia do São Francisco: geologia e recursos naturais.** Belo Horizonte: SBG, 2001. p. 31-54.

MILANI, E. J. Considerações sobre a estratigrafia do fanerozoico no Brasil. In: SBG. Reunião Aberta da Comissão Brasileira de Estratigrafia, 1., 2004, Porto Alegre. **Atas...** Porto Alegre, 2004. p. 1-7.

MILANI, E. J.; THOMAZ FILHO, A. Sedimentary basins of South America. In: CORDANI, U. G.; MILANI, E. J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS, D. A. (Eds.). **Tectonic evolution of South America.** Rio de Janeiro: In-Fólio Produção Editorial, 2000. p. 389-449.

MILANI, E. J.; RAMOS, V. A. Orogenias paleozoicas no domínio sul-ocidental do Gondwana e os ciclos de subsidência da bacia do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 28, n. 4, p. 527-544, 1998.

HEILBRON, M.; PEDROSA SOARES, A. C.; SILVA, L. C. da; CAMPOS NETO, M. C.; TROUW, R. A. J. A evolução tectônica da província Mantiqueira. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R.; BRITO-NEVES, B. B. (Orgs.). **Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida.** São Paulo: Beca, 2004. p. 203-234.

NOCE, C. M.; PEDROSA-SOARES, A. C.; SILVA, L. C.; ALKMIM, F. F. O embasamento arqueano e paleoproterozoico do Orógeno Araçuaí. **Geonomos**, v. 15, n. 1, p. 17-23, 2007.

NOCE, C. M.; PEDROSA-SOARES, A. C.; GROSSI-SAD, J. H.; BAARS, F. J.; GUIMARÃES, M. V.; MOURÃO, M. A. A.; OLIVEIRA, M. J. R.; ROQUE, N. C. Nova subdivisão estratigráfica regional do grupo Macaúbas na faixa Araçuaí: o registro de uma bacia neoproterozoica. **Boletim do Núcleo Minas Gerais/Sociedade Brasileira de Geologia**, n. 14, p. 29-31, 1997.

PACIULLO, F. V. P.; RIBEIRO, A.; ANDREIS, R. R.; TROUW, R. A. J. The Andrelândia basin, a neoproterozoic intra-plate continental margin, southern Brasília belt. **Revista Brasileira de Geociências**, n. 30, p. 200-202, 2000.

PEDROSA-SOARES, A. C. Toward a new tectonic mosaic for the late Proterozoic Araçuaí (SE-Brazil) – West Congolian (SW Africa). In: COMIG. **Nota explicativa dos mapas Geológico, Metalogenético e de Ocorrências Minerais do estado de Minas Gerais. Escala 1:1.000.000.** Belo Horizonte: Companhia Mineradora de Minas Gerais, 1994.

PEDROSA-SOARES, A. C.; ALKMIM, F. F.; TACK, L.; NOCE, C. M.; BABINSKI, M.; SILVA, L. C.; MARTINS-NETO, M. Similarities and differences between the Brazilian and African counterparts of the neoproterozoic Araçuaí-West Congo Orogen. In: PANKHURST, J. R.; TROW, R. A. J.; BRITO NEVES, B. B.; DE WIT, M. J. (Eds.). West Gondwana: pré-cenozoic correlations across the south Atlantic region. **Geological Society of London, Spec. Publ.**, n. 294, p. 153-172, 2008.

PEDROSA-SOARES, A. C.; NOCE, C. M.; WIEDEMANN, C. M.; PINTO, C. P. The Araçuaí-West Congo orogen in Brazil: an overview of a confined orogen formed during Gondwanaland assembly. **Precambrian Research**, n. 110, p. 307-323, 2001.

PERROTA, M. M. et al. Geologia da região sul de São Gonçalo do Sapucaí, MG. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 5., 1989, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SBG-MG, 1989. Bol. 10, p. 233-237.

PINTO, C. P. et al. Suíte metamórfica São Bento dos Torres, serra da Mantiqueira, MG. **Revista Escola de Minas**, v. 5. n. 01/02, p. 187-189, 1992.

QUEIROGA, G. N. **A seção sedimentar sulfetada do ofiolito de Ribeirão da Folha, orógeno Araçuaí, MG.** 2006. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

SAADI, A. **Ensaio sobre a morfotectônica de Minas Gerais (tensões intraplacas, descontinuidades crustais e morfogênese).** 1991. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1991.

SADOWSKI, G. R.; CAMPANHA, G. A. C. Grandes falhas no Brasil continental. In: MANTESSO NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R.; BRITO-NEVES, B. B. (Orgs.). **Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida.** São Paulo: Beca, 2004. p. 407-421.

SAMPAIO, E. E. S.; PORSANI, M. J.; BOTELHO, M. A. B.; BASSREI, A.; STRINGHINI, A. V.; APOLUCENO NETO, A.

F.; CAMPOS, J. V.; TOFFOLI, L. C.; ANDRADE, M. A. L.; ARAÚJO, M. B.; CARVALHO, R. S. **Relatórios de integração: análise de blocos requisitados pela Petrobras (bacias sedimentares brasileiras).** [S.l.]: ANP/UFBA, 1998. CD-ROM.

SANTOS, F. R.; ALKMIM, F. F.; PEDROSA-SOARES, A. C. A formação Salinas, orógeno Araçuaí (MG): história deformacional e significado tectônico. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 39, n. 1, p. 81-100, mar. 2009.

SEER, H. J.; MORAES, L. C. Estudo petrográfico das rochas ígneas alcalinas da região de Lagoa Formosa, MG. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 18, n. 2, p. 134-140, 1988.

SEER, H. J.; BROD, J. A.; FUCK, R. A.; PIMENTEL, M. M.; BOAVENTURA, G. R.; DARDENNE, M. A. Grupo Araxá em sua área-tipo, um fragmento de crosta oceânica neoproterozoica na faixa de dobramentos Brasília. **Revista Brasileira de Geociências**, n. 31, p. 385-396, 2001.

SEER, H. J.; MORAES, L. C.; FOGAÇA, A. C. C. **Roteiro geológico para a região de Lagoa Formosa-Chumbo-Carmo do Paranaíba-MG.** Belo Horizonte: SBG-Núcleo de Minas Gerais; Bol. n. 9, 1989. 58 p.

SILVA, L. C. da; PEDROSA-SOARES, A. C.; TEIXEIRA, L. R.; ARMSTRONG, R. Tonian rift-related, a-type continental plutonism in the Araçuaí orogen, Eastern Brasil: new evidence for the breakup stage of the São Francisco-Congo paleocontinent. **Gondwana Research**, v. 13, n. 4, p. 527-537, 2007.

TEIXEIRA, N. A.; DANNI, J. C. M. Petrologia das lavas ultrabásicas e básicas da sequência vulcanossedimentar Morro do Ferro, Fortaleza de Minas-MG. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 9, p. 151-158, 1979.

TEIXEIRA, W. et al. Complexo granulítico Acaiaca, MG: idade, petrogênese e implicações tectônicas. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 4., 1987, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SBG-MG, 1987. Bol. 7, p. 58-71.

TULLER, M. P.; SIGNORELI, N.; BAPTISTA, M. C.; FÉBOLI, W. J.; RIBEIRO, J. H. **Projeto Vazante-Paracatu I.** Belo Horizonte: CPRM/SUREG-BH, 2010. [trabalho em andamento].

TURNER, S.; REGELOUS, M.; KELLEY, S.; HAWKESWORTH, C. J.; MANTOVANI, M. S. M. Magmatism and continental break-up in the south Atlantic: high precision geochronology. **Earth Planet. Sci. Letters**, n. 121, p. 333-348, 1994.

UHLEIN, A.; ASSIS, L. C.; DARDENNE, M. A. As mineralizações de ouro e cromita da sequência vulcanossedimentar de Serro (MG). In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 2., 1983, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SBG-MG, 1983. Bol. 3, p. 306-320.

VALERIANO, C. M.; DARDENNE, M. A.; FONSECA, M. A.; SIMÕES, L. S. A.; SEER, H. J. A evolução tectônica da faixa Brasília. In: MANTESSO NETO, V.; BARTORELLI, A.;

CARNEIRO, C. D. R.; BRITO-NEVES, B. B. (Orgs.). **Geologia do continente sul-americano**: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo: Beca, 2004. p. 575-592.

ZALÁN, P. V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J. C. J.; MARQUES, A.; ASTOLFI, M. A. M.; VIEIRA, I. S.; APPI, V. T.; ZANOTTO, O. A. Bacia do Paraná. In: **Origem e evolução de bacias sedimentares**. Rio de Janeiro: Petrobras, 1990. p. 135-169.

# 3

## METODOLOGIA E ESTRUTURAÇÃO DA BASE DE DADOS EM SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

Maria Angélica Barreto Ramos (*mabr@sa.cprm.gov.br*)<sup>1</sup>

Marcelo Eduardo Dantas (*mdantas@rj.cprm.gov.br*)<sup>1</sup>

Antônio Theodorovicz (*theodoro@sp.cprm.gov.br*)<sup>1</sup>

Valter José Marques (*vmarques@be.cprm.com.br*)<sup>1</sup>

Vitório Orlandi Filho (*vitórioorlandi@gmail.com*)<sup>2</sup>

Maria Adelaide Mansini Maia (*adelaide@ma.cprm.gov.br*)<sup>1</sup>

Pedro Augusto dos Santos Pfaltzgraff (*pedroaugusto@re.cprm.gov.br*)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>CPRM – Serviço Geológico do Brasil

<sup>2</sup>Consultor

### SUMÁRIO

Introdução .....	37
Procedimentos metodológicos .....	37
Definição dos domínios e unidades geológico-ambientais .....	37
Atributos da geologia .....	38
Deformação .....	38
Tectônica: dobramentos .....	38
Tectônica: fraturamento (Juntas e falhas)/cisalhamento .....	38
Estruturas .....	38
Resistência ao intemperismo físico .....	38
Resistência ao intemperismo químico .....	38
Grau de coerência .....	39

Características do manto de alteração potencial (solo residual) .....	39
Porosidade primária .....	40
Característica da unidade lito-hidrogeológica .....	40
Atributos do relevo .....	40
Modelo digital de terreno – shuttle radar topography mission (SRTM).....	41
Mosaico geocover 2000 .....	43
Análise da drenagem.....	43
<i>Kit</i> de dados digitais.....	43
Trabalhando com o <i>kit</i> de dados digitais .....	44
Estruturação da base de dados: geobank.....	44
Atributos dos campos do arquivo das unidades geológico-ambientais: dicionário de dados.....	46
Referências.....	47

## INTRODUÇÃO

Neste capítulo são apresentadas as diversas etapas que envolveram o tratamento digital dos dados no desenvolvimento do SIG Mapa Geodiversidade do Estado de Minas Gerais, do Programa Geologia do Brasil (PGB) da CPRM/SGB, integrante do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC 2009), que tem como objetivo a geração de produtos voltados para o ordenamento territorial e o planejamento dos setores mineral, transportes, agricultura, turismo e meio ambiente.

As informações produzidas estão alojadas no GeoBank (sistema de bancos de dados geológicos corporativo da CPRM/SGB), a partir das informações geológicas multiescalares contidas em suas bases Litoestratigrafia e Recursos Minerais, além da utilização de sensores como o Modelo Digital de Terreno SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), do Mosaico GeoCover 2000 e das informações de estruturas e drenagem (CPRM, 2004; RAMOS et al., 2005; THEODOROVICZ et al., 1994, 2001, 2002, 2005; TRAININI e ORLANDI, 2003; TRAININI et al., 1998, 2001).

Do mesmo modo que na elaboração do Mapa Geodiversidade do Brasil (escala 1:2.500.000), também foram utilizadas, para o Mapa Geodiversidade do Estado de Minas Gerais, informações temáticas de infraestrutura, recursos minerais, unidades de conservação, áreas de proteção ambiental (APA), terras indígenas e áreas de proteção integral e de desenvolvimento sustentável estaduais e federais, dados da rede hidrológica e de água subterrânea, áreas impactadas (erosão, desertificação), áreas oneradas pela mineração, informações da Zona Econômica Exclusiva da Plataforma Continental (ZEE), gasodutos e oleodutos, dados paleontológicos e geoturísticos.

## PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Assim como para o Mapa Geodiversidade do Brasil e o SIG Geodiversidade ao Milionésimo, os levantamentos estaduais foram elaborados seguindo as orientações contidas em roteiro metodológico preparado para essa fase, apoiados em *kits* digitais personalizados para cada estado, que contêm todo o material digital (imagens, arquivos vetoriais etc.) necessário ao bom desempenho da tarefa.

A sistemática de trabalho adotada permitiu a continuação da organização dos dados na Base Geodiversidade inserida no GeoBank (CPRM/SGB), desde a fase do recorte ao milionésimo até os estaduais e, sucessivamente, em escalas de maior detalhe (em trabalhos futuros), de forma a possibilitar a conexão dos dados vetoriais aos dados alfanuméricos. Em uma primeira fase, com auxílio dos elementos-chave descritos nas tabelas dos dados vetoriais, é possível vincular facilmente mapas digitais ao GeoBank (CPRM/SGB), como na montagem de SIGs, em que as tabelas das *shapefiles* (arquivos vetoriais) são produtos da consulta sistemática ao banco de dados.

## DEFINIÇÃO DOS DOMÍNIOS E UNIDADES GEOLÓGICO-AMBIENTAIS

O estabelecimento de domínios geológico-ambientais e suas subdivisões para o estado de Minas Gerais se insere nos critérios adotados para a definição dos domínios e unidades geológico-ambientais do Brasil, com o objetivo de se agrupar conjuntos estratigráficos de comportamento semelhante frente ao uso e ocupação dos terrenos. Da mesma forma, o resultado obtido não foi um mapa geológico ou tectônico, mas sim um novo produto, denominado Mapa Geodiversidade do Estado de Minas Gerais, no qual foram inseridas informações de cunho ambiental, muito embora a matéria-prima para as análises e agrupamentos tenha sido proveniente das informações contidas nas bases de dados de Litoestratigrafia e Recursos Minerais do GeoBank (CPRM/SGB), bem como na larga experiência em mapeamento e em projetos de ordenamento e gestão do território dos profissionais da CPRM/SGB.

Em alguns casos foram agrupadas, em um mesmo domínio, unidades estratigráficas com idades diferentes, desde que a elas se aplicasse um conjunto de critérios classificatórios, como: posicionamento tectônico, nível crustal, classe da rocha (ígneas, sedimentar ou metamórfica), grau de coesão, textura, composição, tipos e graus de deformação, expressividade do corpo rochoso, tipos de metamorfismo, expressão geomorfológica ou litotipos especiais. Se, por um lado, agruparam-se, por exemplo, quartzitos friáveis e arenitos friáveis, por outro foram separadas formações sedimentares muito semelhantes em sua composição, estrutura e textura, quando a geometria do corpo rochoso apontava no sentido da importância em distinguir uma situação de extensa cobertura de uma situação de pacote restrito, limitado em riftes.

O principal objetivo para tal compartimentação é atender a uma ampla gama de usos e usuários interessados em conhecer as implicações ambientais decorrentes do embasamento geológico. Para a elaboração do Mapa Geodiversidade do Brasil (escala 1:2.500.000), analisaram-se somente as implicações ambientais provenientes de características físico-químicas, geométricas e genéticas dos corpos rochosos. Na escala 1:1.000.000, do recorte ao milionésimo e dos estados, foram selecionados atributos aplicáveis ao planejamento e dos compartimentos de relevo, reservando-se para as escalas de maior detalhe o cruzamento com informações sobre clima, solo e vegetação.

Como a Base Geodiversidade é fruto da reclassificação das unidades litoestratigráficas contidas na Base multiescalar Litoestratigrafia, compondo conjuntos estratigráficos de comportamento semelhante frente ao uso e ocupação, atualmente essa base possui a estruturação em domínios e unidades geológico-ambientais apresentados no Apêndice I (Unidades Geológico-Ambientais do Território Brasileiro). Tal estruturação é dinâmica e, na medida do detalhamento das escalas, novos domínios e unidades podem ser inseridos.

## ATRIBUTOS DA GEOLOGIA

Desde a etapa do recorte ao milionésimo, para melhor caracterizar as unidades geológico-ambientais, foram selecionados atributos da geologia que permitem uma série de interpretações na análise ambiental, os quais são descritos a seguir.

### Deformação

Relacionada à dinâmica interna do planeta. Procede-se à sua interpretação a partir da ambiência tectônica, litológica e análise de estruturas refletidas nos sistemas de relevo e drenagem.

Tectônica: dobramentos

- **Ausente:** sedimentos inconsolidados (aluviões, dunas, terraços etc.).
- **Não-dobrada:** sequências sedimentares, vulcanossedimentares e rochas ígneas não-dobradas e não-metamorfizadas.
- **Pouco a moderadamente dobrada:** a exemplo das sequências sedimentares ou vulcanossedimentares do tipo Bambuí, por exemplo.
- **Intensamente dobrada:** a exemplo das sequências sedimentares ou vulcanossedimentares complexa e intensamente dobradas (por exemplo, grupos Açungui, Minas, dentre outros) e das rochas granito-gnaiss migmatíticas.

Tectônica: fraturamento (juntas e falhas)/cisalhamento

- **Não-fraturada:** caso das coberturas sedimentares inconsolidadas.
- **Pouco a moderadamente fraturada:** sequências sedimentares moderadamente consolidadas, a exemplo da Formação Barreiras.
- **Intensamente fraturada:** caso das coberturas prozoicas e vulcânicas mesozoicas (ex.: Bacia do Paraná).
- **Zonas de cisalhamento:** caso das faixas de concentração de deformação dúctil (cinturões de deformação).

### Estruturas

De acordo com Oliveira e Brito (1998), as rochas podem apresentar as seguintes características reológicas (comportamento frente a esforços mecânicos):

- **Isotrópica:** aplica-se quando as propriedades das rochas são constantes, independentemente da direção observada.
- **Anisotrópica:** as propriedades variam de acordo com a direção considerada.

As bibliotecas para o atributo "Estruturas" são:

- Isotrópica
- Anisotrópica Indefinida
- Anisotrópica Estratificada

- Anisotrópica Estratificada/Biogênica
- Anisotrópica Maciça/Vesicular
- Anisotrópica Maciça/Acamadada
- Anisotrópica Maciça/Laminada
- Anisotrópica Acamadada
- Anisotrópica Acamadada/Filitosa
- Anisotrópica Acamadada/Xistosa
- Anisotrópica Xistosa/Maciça
- Anisotrópica Filitosa/Xistosa
- Anisotrópica Acamadamento Magmático
- Anisotrópica Gnáissica
- Anisotrópica Bandada
- Anisotrópica Concrecional
- Anisotrópica Concrecional/Nodular
- Anisotrópica Biogênica
- Anisotrópica com Estruturas de Dissolução
- Anisotrópica com Estruturas de Colapso

### Resistência ao Intemperismo Físico

Procede-se à dedução a partir da análise da composição mineral da rocha ou das rochas que sustentam a unidade geológico-ambiental.

Se for apenas um tipo de litologia que sustenta a unidade geológico-ambiental ou se forem complexos plutônicos de várias litologias, são definidas as seguintes classificações para esse atributo:

- **Baixa:** rochas ricas em minerais ferromagnesianos, arenitos, siltitos, metassedimentos argilosos, rochas ígneas ricas em micas, calcários, lateritas, rochas ígneas básico-ultrabásico-alcálicas efusivas.
- **Moderada a alta:** ortoquartzitos, arenitos silicificados, leucogranitos e outras rochas pobres em micas e em minerais ferromagnesianos, formações ferríferas, quartzitos e arenitos impuros.
- **Não se aplica:** sedimentos inconsolidados.

Se forem várias litologias que sustentam a unidade geológico-ambiental, a classificação será:

- **Baixa a moderada na vertical:** caso de coberturas pouco a moderadamente consolidadas.
- **Baixa a alta na vertical:** unidades em que o substrato rochoso é formado por empilhamento de camadas horizontalizadas, não-dobradas, de litologias de composição mineral e com grau de consolidação muito diferentes, como as intercalações irregulares de calcários, arenitos, siltitos, argilitos etc.
- **Baixa a alta na horizontal e na vertical:** sequências sedimentares e vulcanossedimentares dobradas e compostas de várias litologias; rochas gnáissico-migmatíticas e outras que se caracterizam por apresentar grande heterogeneidade composicional, textural e deformacional lateral e vertical.

### Resistência ao Intemperismo Químico

Procede-se à dedução a partir da análise da composição mineral da rocha ou das rochas que sustentam a unidade geológico-ambiental.

Se for só um tipo de litologia que sustenta a unidade geológico-ambiental ou se forem complexos plutônicos de várias litologias, são definidas as seguintes classificações para esse atributo:

- **Baixa:** calcários, rochas básicas, ultrabásicas, alcalinas etc.
- **Moderada a alta:** ortoquartzitos, leucogranitos e outras rochas pobres em micas e em minerais ferromagnesianos, quartzitos e arenitos impuros, granitos ricos em minerais ferromagnesianos e micáceos etc.
- **Não se aplica:** aluviões.

Entretanto, se forem várias litologias que sustentam a unidade geológico-ambiental, a classificação será:

- **Baixa a moderada na vertical:** unidades em que o substrato rochoso é formado por empilhamento de camadas horizontalizadas, não-dobradas, de composição mineral e grau de consolidação semelhantes a ligeiramente diferentes e mesma composição mineralógica.
- **Baixa a alta na vertical:** unidades em que o substrato rochoso é formado por empilhamento de camadas horizontalizadas, não-dobradas, de litologias de composição mineral e grau de consolidação muito diferentes, como as intercalações irregulares de calcários, arenitos, siltitos, argilitos etc.
- **Baixa a alta na horizontal e na vertical:** seqüências sedimentares e vulcanossedimentares dobradas e compostas de várias litologias; rochas gnáissico-migmatíticas e outras que se caracterizam por apresentar grande heterogeneidade composicional, textural e deformacional lateral e vertical.

## Grau de Coerência

Refere-se à resistência ao corte e à penetração. Mesmo em se tratando de uma única litologia, deve-se prever a combinação dos vários tipos de grau de coerência, a exemplo dos arenitos e siltitos (Figura 3.1). Para o caso de complexos plutônicos com várias litologias, todas podem ser enquadradas em um único grau de coerência.

As classificações utilizadas neste atributo são:

- Muito brandas
- Brandas
- Médias
- Duras
- Muito brandas a duras

Entretanto, se forem várias litologias, esta será a classificação:

- Variável na horizontal
- Variável na vertical
- Variável na horizontal e vertical
- Não se aplica.

## Características do Manto de Alteração Potencial (Solo Residual)

Procede-se à dedução a partir da análise da composição mineral das rochas. Por exemplo, independentemente de outras variáveis que influenciam as características do solo, como

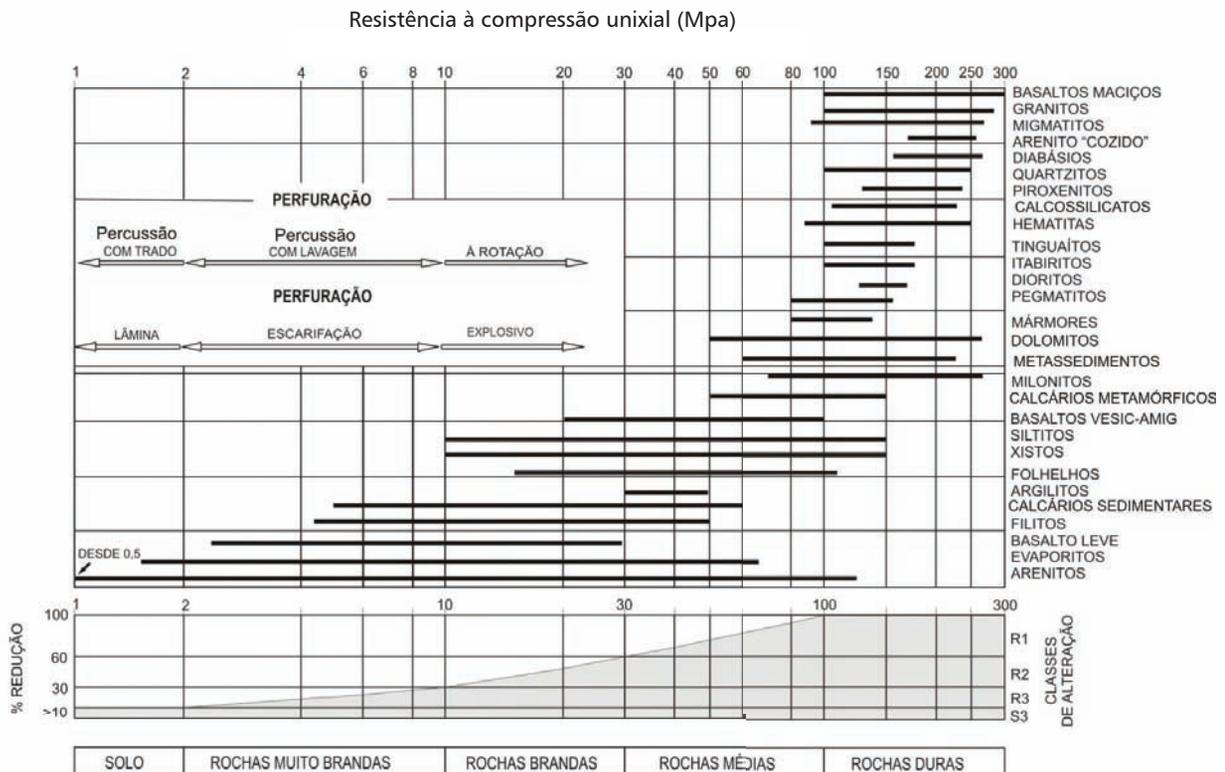


Figura 3.1 - Resistência à compressão uniaxial e classes de alteração para diferentes tipos de rochas. Fonte: Modificado de Vaz (1996).

clima, relevo e evolução do solo, o manto de alteração de um basalto será argiloso e, o de um granito, argilo-siltico-arenoso.

- **Predominantemente arenoso:** substrato rochoso sustentado por espessos e amplos pacotes de rochas predominantemente arenoquartzosas.

- **Predominantemente argiloso:** predominância de rochas que se alteram para argilominerais, a exemplo de derrames basálticos, complexos básico-ultrabásico-alcálinos, terrenos em que predominam rochas calcárias etc.

- **Predominantemente argilossiltoso:** siltitos, folhelhos, filitos e xistos.

- **Predominantemente argilo-siltico-arenoso:** rochas granitoides e gnáissico-migmatíticas ortoderivadas.

- **Variável de arenoso a argilossiltoso:** sequências sedimentares e vulcanossedimentares compostas por alternâncias irregulares de camadas pouco espessas, interdigitadas e de composição mineral muito contrastante, a exemplo das sequências em que se alternam, irregularmente, entre si, camadas de arenitos quartzosos com pelitos, calcários ou rochas vulcânicas.

- **Predominantemente siltoso:** siltitos e folhelhos.

- **Não se aplica**

## Porosidade Primária

Relacionada ao volume de vazios em relação ao volume total da rocha. O preenchimento deverá seguir os procedimentos descritos na Tabela 3.1.

Caso seja apenas um tipo de litologia que sustenta a unidade geológico-ambiental, observar o campo "Descrição", da Tabela 3.1. Entretanto, se forem complexos plutônicos de várias litologias, a porosidade é baixa.

- Baixa: 0 a 15%

- Moderada: de 15 a 30%

- Alta: >30%

Para os casos em que várias litologias sustentam a unidade geológico-ambiental, observar o campo "Tipo", da Tabela 3.1.

**Variável (0 a > 30%):** a exemplo das unidades em que o substrato rochoso é formado por um empilhamento irregular de camadas horizontalizadas porosas e não-porosas.

## Característica da Unidade Lito-Hidrogeológica

São utilizadas as seguintes classificações:

- Granular: dunas, depósitos sedimentares inconsolidados, planícies aluviais, coberturas sedimentares etc.

- Fissural

- Granular/fissural

- Cárstico

- Não se aplica

## ATRIBUTOS DO RELEVO

Com o objetivo de conferir uma informação geomorfológica clara e aplicada ao mapeamento da geodiversidade do território brasileiro e dos estados federativos em escalas

de análise muito reduzidas (1:500.000 a 1:1.000.000), procurou-se identificar os grandes conjuntos morfológicos passíveis de serem delimitados em tal tipo de escala, sem muitas preocupações quanto à gênese e evolução morfodinâmica das unidades em análise, assim como aos processos geomorfológicos atuantes. Tais avaliações e controvérsias, de âmbito exclusivamente geomorfológico, seriam de pouca valia para atender aos propósitos deste estudo. Portanto, termos como: depressão, crista, patamar, platô, *cuesta*, *hog-back*, pediplano, peneplanos, etchplano, escarpa, serra e maciço, dentre tantos outros, foram englobados em um reduzido número de conjuntos morfológicos.

Portanto, esta proposta difere, substancialmente, das metodologias de mapeamento geomorfológico presentes na literatura, tais como: a análise integrada entre a compartimentação morfológica dos terrenos, a estrutura subsuperficial dos terrenos e a fisiologia da paisagem, proposta por Ab'Saber (1969); as abordagens descritivas em base morfométrica, como as elaboradas por Barbosa et al. (1977), para o Projeto RadamBrasil, e Ponçano et al. (1979) e Ross e Moroz (1996) para o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT); as abordagens sistêmicas, com base na compartimentação topográfica em bacias de drenagem (MEIS et al., 1982); ou a reconstituição de superfícies regionais de aplainamento (LATRUBESSE et al., 1998).

O mapeamento de padrões de relevo é, essencialmente, uma análise morfológica do relevo com base em fotointerpretação da textura e rugosidade dos terrenos a partir de diversos sensores remotos.

Nesse sentido, é de fundamental importância esclarecer que não se pretendeu produzir um mapa geomorfológico, mas um mapeamento dos padrões de relevo em consonância com os objetivos e as necessidades de um mapeamento da geodiversidade do território nacional em escala continental.

Com esse enfoque, foram selecionados 28 padrões de relevo para os terrenos existentes no território brasileiro (Tabela 3.2), levando-se, essencialmente, em consideração:

- Parâmetros morfológicos e morfométricos que pudessem ser avaliados pelo instrumental tecnológico disponível nos kits digitais (imagens LandSat GeoCover e Modelo Digital de Terreno (MDT) e Relevo Sombreado (SRTM); mapa de classes de hipsometria; mapa de classes de declividade).

- Reinterpretação das informações existentes nos mapas geomorfológicos produzidos por instituições diversas, em especial os mapas desenvolvidos no âmbito do Projeto RadamBrasil, em escala 1:1.000.000.

- Execução de uma série de perfis de campo, com o objetivo de aferir a classificação executada.

Para cada um dos atributos de relevo, com suas respectivas bibliotecas, há uma legenda explicativa (Apêndice II – Biblioteca de Relevo do Território Brasileiro) que agrupa características morfológicas e morfométricas gerais, assim como informações muito elementares e generalizadas quanto à sua gênese e vulnerabilidade frente aos processos geomorfológicos (intempéricos, erosivos e deposicionais).

Evidentemente, considerando-se a vastidão e a enor-

**Tabela 3.1** - Tabela de porosidade total dos diversos materiais rochosos.

Material		Porosidade Total % m					Porosidade Eficaz % m <sub>e</sub>			Obs.
Tipo	Descrição	Média	Normal		Extraordinária		Média	Máx.	Mín.	
			Máx.	Mín.	Máx.	Mín.				
Rochas maciças	Granito	0,3	4	0,2	9	0,05	<0,2	0,5	0,0	A
	Calcário maciço	8	15	0,5	20		<0,5	1	0,0	B
	Dolomito	5	10	2			<0,5	1	0,0	B
Rochas metamórficas		0,5	5	0,2			<0,5	2	0,0	A
Rochas vulcânicas	Piroclasto e turfas	30	50	10	60	5	<5	20	0,0	C, E
	Escórias	25	80	10			20	50	1	C, E
	Pedra-pome	85	90	50			<5	20	0,0	D
	Basaltos densos, fonólitos	2	5	0,1			<1	2	0,1	A
	Basaltos vesiculares	12	30	5			5	10	1	C
Rochas sedimentares consolidadas (ver rochas maciças)	Pizarras sedimentares	5	15	2	30	0,5	<2	5	0,0	E
	Arenitos	15	25	3	30	0,5	10	20	0,0	F
	Creta blanda	20	50	10			1	5	0,2	B
	Calcário detrítico	10	30	1,5			3	20	0,5	
Rochas sedimentares inconsolidadas	Aluviões	25	40	20	45	15	15	35	5	E
	Dunas	35	40	30			20	30	10	
	Cascalho	30	40	25	40	20	25	35	15	
	Loess	45	55	40			<5	10	0,1	E
	Areias	35	45	20			25	35	10	
	Depósitos glaciais	25	35	15			15	30	5	
	Silte	40	50	25			10	20	2	E
	Argilas não-compactadas	45	60	40	85	30	2	10	0,0	E
Solos superiores	50	60	30			10	20	1	E	

Fonte: Modificado de Custodio e Llamas (1983).

Nota: Alguns dados, em especial os referentes à porosidade eficaz (m<sub>e</sub>), devem ser tomados com precauções, segundo as circunstâncias locais.

**A** = Aumenta m e m<sub>e</sub> por meteorização; **B** = Aumenta m e m<sub>e</sub> por fenômenos de dissolução;

**C** = Diminui m e m<sub>e</sub> com o tempo; **D** = Diminui m e pode aumentar m<sub>e</sub> com o tempo;

**E** = m<sub>e</sub> muito variável segundo as circunstâncias do tempo;

**F** = Varia segundo o grau de cimentação e solubilidade.

me geodiversidade do território brasileiro, assim como seu conjunto diversificado de paisagens bioclimáticas e condicionantes geológico-geomorfológicas singulares, as informações de amplitude de relevo e declividade, dentre outras, devem ser reconhecidas como valores-padrão, não aplicáveis indiscriminadamente a todas as regiões. Não se descartam sugestões de ajuste e aprimoramento da Tabela 3.2 e do Apêndice II apresentados nesse modelo, as quais serão bem-vindas.

### MODELO DIGITAL DE TERRENO – SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHY MISSION (SRTM)

A utilização do Modelo Digital de Terreno ou Modelo Digital de Elevação ou Modelo Numérico de Terreno, no contexto do Mapa Geodiversidade do Estado de Minas

Gerais, justifica-se por sua grande utilidade em estudos de análise ambiental.

Um Modelo Digital de Terreno (MDT) é um modelo contínuo da superfície terrestre, no nível do solo, representado por uma malha digital de matriz cartográfica encadeada, ou *raster*, onde cada célula da malha retém um valor de elevação (altitude) do terreno. Assim, a utilização do MDT em estudos geoambientais se torna imprescindível, uma vez que esse modelo tem a vantagem de fornecer uma visão tridimensional do terreno e suas inter-relações com as formas de relevo e da drenagem e seus padrões de forma direta. Isso permite a determinação do grau de dissecação do relevo, informando também o grau de declividade e altimetria, o que auxilia grandemente na análise ambiental, como, por exemplo, na determinação de áreas de proteção

Tabela 3.2 - Atributos e biblioteca de padrões de relevo do território brasileiro.

Símbolo	Tipo de Relevo	Declividade (graus)	Amplitude Topográfica (m)
R1a	Planícies Fluviais ou Fluviolacustres	0 a 3	zero
R1b1	Terraços Fluviais	0 a 3	2 a 20
R1b2	Terraços Marinheiros	0 a 3	2 a 20
R1b3	Terraços Lagunares	0 a 3	2 a 20
R1c1	Vertentes Recobertas por Depósitos de Encosta	5 a 45	Variável
R1c2	Leques Aluviais	0 a 3	2 a 20
R1d	Planícies Fluviomarinhas	0° (plano)	zero
R1e	Planícies Costeiras	0 a 5	2 a 20
R1f1	Campos de Dunas	3 a 30	2 a 40
R1f2	Campos de Loess	0 a 5°	2 a 20
R1g	Recifes	0	zero
R2a1	Tabuleiros	0 a 3	20 a 50
R2a2	Tabuleiros Dissecados	0 a 3	20 a 50
R2b1	Baixos Platôs	0 a 5	0 a 20
R2b2	Baixos Platôs Dissecados	0 a 5	20 a 50
R2b3	Planaltos	0 a 5	20 a 50
R2c	Chapadas e Platôs	0 a 5	0 a 20
R3a1	Superfícies Aplainadas Conservadas	0 a 5	0 a 10
R3a2	Superfícies Aplainadas Degradadas	0 a 5	10 a 30
R3b	<i>Inselbergs</i>	25 a 60	50 a 500
R4a1	Domínio de Colinas Amplas e Suaves	3 a 10	20 a 50
R4a2	Domínio de Colinas Dissecadas e Morros Baixos	5 a 20	30 a 80
R4a3	Domos em Estrutura Elevada	3 a 10	50 a 200
R4b	Domínio de Morros e de Serras Baixas	15 a 35	80 a 200
R4c	Domínio Montanhoso	25 a 60	300 a 2000
R4d	Escarpas Serranas	25 a 60	300 a 2000
R4e	Degraus Estruturais e Rebordos Erosivos	10 a 45	50 a 200
R4f	Vales Encaixados	10 a 45	100 a 300

permanente, projetos de estradas e barragens, trabalhos de mapeamento de vegetação etc.

A escolha do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) [missão espacial liderada pela NASA, em parceria com as agências espaciais da Alemanha (DLR) e Itália (ASI), realizada durante 11 dias do mês de fevereiro de 2000, visando à geração de um modelo digital de elevação quase global] foi devida ao fato de os MDTs disponibilizados por esse sensor já se encontrarem disponíveis para toda a América do Sul, com resolução espacial de aproximadamente 90 x 90 m, apresentando alta acurácia e confiabilidade, além da gratuidade (CCRS, 2004 citado por BARROS et al., 2004).

Durante a realização dos trabalhos de levantamento da geodiversidade do território brasileiro, apesar de todos os pontos positivos apresentados, os dados SRTM, em

algumas regiões, acusaram problemas, tais como: valores espúrios (positivos e negativos) nas proximidades do mar e áreas onde não são encontrados valores. Tais problemas são descritos em diversos trabalhos do SRTM (BARROS et al., 2004), sendo que essas áreas recebem o valor -32768, indicando que não há dado disponível.

A literatura do tema apresenta diversas possibilidades de correção desses problemas, desde substituição de tais áreas por dados oriundos de outros produtos – o GTOPO30 aparece como proposta para substituição em diversos textos – ao uso de programas que objetivam diminuir tais incorreções por meio de edição de dados (BARROS et al., 2004). Neste estudo, foi utilizado o *software* ENVI 4.1 para solucionar o citado problema.

## MOSAICO GEOCOVER 2000

A justificativa para a utilização do Mosaico GeoCover 2000 é o fato de este se constituir em um mosaico ortorectificado de imagens ETM+ do sensor LandSat 7, resultante do *sharpening* das bandas 7, 4, 2 e 8. Esse processamento realiza a transformação RGB-IHS (canais de cores RGB-IHS / vermelho, verde e azul – Matiz, Saturação e Intensidade), utilizando as bandas 7, 4 e 2 com resolução espacial de 30 m e, posteriormente, a transformação IHS-RGB utilizando a banda 8 na Intensidade (I) para aproveitar a resolução espacial de 15 m. Tal procedimento junta as características espaciais da imagem com resolução de 15 m às características espectrais das imagens com resolução de 30 m, resultando em uma imagem mais “aguçada”. As imagens do Mosaico GeoCover LandSat 7 foram coletadas no período de 1999/2000 e apresentam resolução espacial de 14,25 m.

Além da exatidão cartográfica, o Mosaico GeoCover possui outras vantagens, como: facilidade de aquisição dos dados sem ônus, âncora de posicionamento, boa acurácia e abrangência mundial, o que, juntamente com o MDT, torna-o imprescindível aos estudos de análise ambiental (ALBUQUERQUE et al., 2005; CREPANI e MEDEIROS, 2005).

## ANÁLISE DA DRENAGEM

Segundo Guerra e Cunha (2001), o reconhecimento, a localização e a quantificação das drenagens de uma determinada região são de fundamental importância ao entendimento dos processos geomorfológicos que governam as transformações do relevo sob as mais diversas condições climáticas e geológicas. Nesse sentido, a utilização das informações espaciais extraídas do traçado e da forma das drenagens é indispensável na análise geológico-ambiental, uma vez que são respostas/resultados das características ligadas a aspectos geológicos, estruturais e a processos geomorfológicos, os quais atuam como agentes modeladores da paisagem e das formas de relevo.

Dessa forma, a integração de atributos ligados às redes de drenagem – como tipos de canais de escoamento, hierarquia da rede fluvial e configuração dos padrões de drenagem – a outros temas trouxe respostas a várias questões relacionadas ao comportamento dos diferentes ambientes geológicos e climáticos locais, processos fluviais dominantes e disposição de camadas geológicas, dentre outros.

## KIT DE DADOS DIGITAIS

Na fase de execução dos mapas de geodiversidade estaduais, o *kit* de dados digitais constou, de acordo com o disponível para cada estado, dos seguintes temas:

- Geodiversidade: arquivo dos domínios e unidades geológico-ambientais
- Estruturas: arquivo das estruturas geológicas
- Planimetria: cidades, vilas, povoados, rodovias etc.
- Áreas Restritivas: áreas de parques estaduais e federais, terras indígenas, estações ecológicas etc.

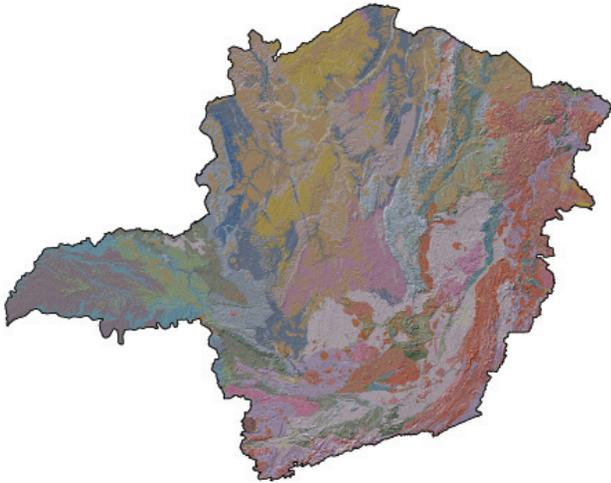
- Hidrografia: drenagens bifilar e unifilar
- Bacias Hidrográficas: recorte das bacias e sub-bacias de drenagem
- Altimetria: curvas de nível espaçadas de 100 m
- Campos de Óleo: campos de óleo e gás
- Gasodutos e Oleodutos: arquivos de gasodutos, refinarias etc.
- Pontos Geoturísticos: sítios geológicos, paleontológicos etc.
- Quilombolas: áreas de quilombolas
- Recursos Minerais: dados de recursos minerais
- Assentamento: arquivo das áreas de assentamento agrícola
- Áreas de Desertificação: arquivo das áreas de desertificação
- Paleontologia: dados de paleontologia
- Poços: dados de poços cadastrados pelo Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) criado pela CPRM/SGB
- ZEE (Zona Econômica Exclusiva da Plataforma Continental): recursos minerais e feições da ZEE
- MDT\_SRTM: arquivo *Grid* pelo recorte do estado
- Declividade: arquivo *Grid* pelo recorte do estado
- GeoCover: arquivo *Grid* pelo recorte do estado
- Simbologias ESRI: fontes e arquivos *\*style* (arquivo de cores e simbologias utilizadas pelo programa ArcGis) para implementação das simbologias para leiaute – instruções de uso por meio do arquivo *leia-me.doc*, que se encontra dentro da pasta.

As figuras 3.2 a 3.4 ilustram parte dos dados do kit digital para o Mapa Geodiversidade do Estado de Minas Gerais.

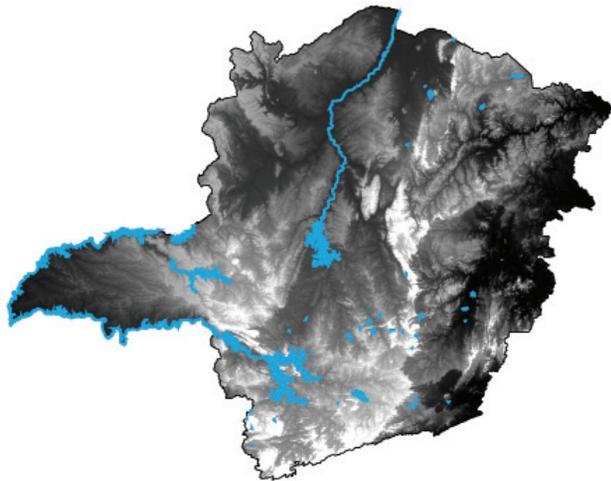
Os procedimentos de tratamento digital e processamento das imagens geotiff e MrSid (SRTM e GeoCover, respectivamente), dos Grids (declividade e hipsométrico), bem como dos recortes e reclass dos arquivos vetoriais (litologia, planimetria, curvas de nível, recursos minerais etc.) contidos no kit digital foram realizados em ambiente SIG, utilizando os softwares ArcGis9 e ENVI 4.4.



**Figura 3.2** - Exemplo de dados do *Kit* digital para o estado de Minas Gerais: unidades geológico-ambientais versus áreas de proteção ambiental.



**Figura 3.3** - Exemplo de dados do *kit* digital para o estado de Minas Gerais: unidades geológico-ambientais *versus* relevo sombreado (MDT\_SRTM).



**Figura 3.4** - Exemplo de dados do *kit* digital para o estado de Minas Gerais: modelo digital de elevação (SRTM) *versus* drenagem bifilar.

### Trabalhando com o *Kit* de Dados Digitais

Na metodologia adotada, a unidade geológico-ambiental, fruto da reclassificação das unidades geológicas (*reclass*), é a unidade fundamental de análise, na qual foram agregadas todas as informações da geologia possíveis de serem obtidas a partir dos produtos gerados pela atualização da cartografia geológica dos estados, pelo SRTM, mosaico GeoCover 2000 e drenagem.

Com a utilização dos dados digitais contidos em cada DVD-ROM foram estruturados, para cada folha ou mapa estadual, um **Projeto.mxd** (conjunto de shapes e leiaute) organizado no *software* ArcGis9.

No diretório de trabalho havia um arquivo *shapefile*, denominado **geodiversidade\_estado.shp**, que correspondia ao arquivo da geologia onde deveria ser aplicada a reclassificação da geodiversidade.

Após a implantação dos domínios e unidades geoló-

gico-ambientais, procedia-se ao preenchimento dos parâmetros da geologia e, posteriormente, ao preenchimento dos campos com os atributos do relevo.

As informações do relevo serviram para melhor caracterizar a unidade geológico-ambiental e também para subdividi-la. Porém, essa subdivisão, em sua maior parte, alcançou o nível de polígonos individuais.

Quando houve necessidade de subdivisão do polígono, ou seja, quando as variações fisiográficas eram muito contrastantes, evidenciando comportamentos hidrológicos e erosivos muito distintos, esse procedimento foi realizado. Nessa etapa, considerou-se o relevo como um atributo para subdividir a unidade, propiciando novas deduções na análise ambiental.

Assim, a nova unidade geológico-ambiental resultou da interação da unidade geológico-ambiental definida na primeira etapa com o relevo.

Finalizado o trabalho de implementação dos parâmetros da geologia e do relevo pela equipe responsável, o material foi enviado para a Coordenação de Geoprocessamento, que procedeu à auditoria do arquivo digital da geodiversidade para retirada de polígonos espúrios, superposição e vazios, gerados durante o processo de edição. Paralelamente, iniciou-se a carga dos dados na Base Geodiversidade – APLICATIVO GEODIV (VISUAL BASIC), com posterior migração dos dados para o GeoBank (CPRM/SGB).

### ESTRUTURAÇÃO DA BASE DE DADOS: GEOBANK

A implantação dos projetos de levantamento da geodiversidade do Brasil teve como objetivo principal oferecer aos diversos segmentos da sociedade brasileira uma tradução do conhecimento geológico-científico, com vistas a sua aplicação ao uso adequado para o ordenamento territorial e planejamento dos setores mineral, transportes, agricultura, turismo e meio ambiente, tendo como base as informações geológicas presentes no SIG da Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo (CPRM, 2004).

Com essa premissa, a Coordenação de Geoprocessamento da Geodiversidade, após uma série de reuniões com as Coordenações Temáticas e com as equipes locais da CPRM/SGB, estabeleceu normas e procedimentos básicos a serem utilizados nas diversas atividades dos levantamentos estaduais, com destaque para:

- Definição dos domínios e unidades geológico-ambientais com base em parâmetros geológicos de interesse na análise ambiental, em escalas 1:2.500.000, 1:1.000.000 e mapas estaduais.
- A partir da escala 1:1.000.000, criação de atributos geológicos aplicáveis ao planejamento e informações dos compartimentos do relevo.
- Acuidade cartográfica compatível com as escalas adotadas.
- Estruturação de um modelo conceitual de base para o planejamento, com dados padronizados por meio de bibliotecas.
- Elaboração da legenda para compor os leiautes dos mapas de geodiversidade estaduais.

- Criação de um aplicativo de entrada de dados local desenvolvido em Visual Basic 6.0 Aplicativo GEODIV.
- Implementação do modelo de dados no GeoBank (Oracle) e migração dos dados do Aplicativo GEODIV para a Base Geodiversidade.
- Entrada de dados de acordo com a escala e fase (mapas estaduais).
- Montagem de SIGs.
- Disponibilização dos mapas na Internet, por meio do módulo Web Map do GeoBank (<<http://geobank.sa.cprm.gov.br>>), onde o usuário tem acesso a informações relacionadas às unidades geológico-ambientais (Base Geodiversidade) e suas respectivas unidades litológicas (Base Litoestratigrafia).

A necessidade de prover o SIG Geodiversidade com tabelas de atributos referentes às unidades geológico-ambientais, dotadas de informações para o planejamento, implicou a modelagem de uma Base Geodiversidade, intrinsecamente relacionada à Base Litoestratigrafia, uma vez que as unidades geológico-ambientais são produto da reclassificação das unidades litoestratigráficas.

Esse modelo de dados foi implantado em um aplicativo de entrada de dados local desenvolvido em Visual Basic 6.0, denominado GEODIV. O modelo do aplicativo apresenta seis telas de entrada de dados armazenados em três tabelas de dados e 16 tabelas de bibliotecas. A primeira tela recupera, por escala e fase, todas as unidades geológico-ambientais cadastradas, filtrando, para cada uma delas, as letras-símbolos das unidades litoestratigráficas (Base Litoestratigrafia) (Figura 3.5).

Posteriormente, de acordo com a escala adotada, o usuário cadastra todos os atributos da geologia de interesse para o planejamento (Figura 3.6).

Na última tela, o usuário cadastra os compartimentos de relevo (Figura 3.7).

Todos os dados foram preenchidos pela equipe da Coordenação de Geoprocessamento e inseridos no aplicativo que possibilita o armazenamento das informações no GeoBank (Oracle), formando, assim, a Base Geodiversidade (Figura 3.8)

O módulo da Base Geodiversidade, suportado por bibliotecas, recupera, também por escala e por fase (quadrícula ao milionésimo, mapas estaduais), todas as informações das unidades geológico-ambientais, permitindo a organização dos dados no GeoBank de forma a possibilitar a conexão dos dados vetoriais com os dados alfanuméricos. Em uma primeira fase, com auxílio dos elementos-chave descritos nas tabelas, é possível vincular, facilmente, mapas digitais ao GeoBank, como na montagem de SIGs, em que as tabelas são produtos da consulta sistemática ao banco de dados.

Outra importante ferramenta de visualização dos mapas geoambientais é o módulo Web Map do GeoBank, onde o usuário tem acesso a informações relacionadas às unidades geológico-ambientais (Base Geodiversidade) e suas respectivas unidades litológicas (Base Litoestratigrafia), podendo recuperar as informações dos atributos relacionados à geologia e ao relevo diretamente no mapa (Figura 3.9).

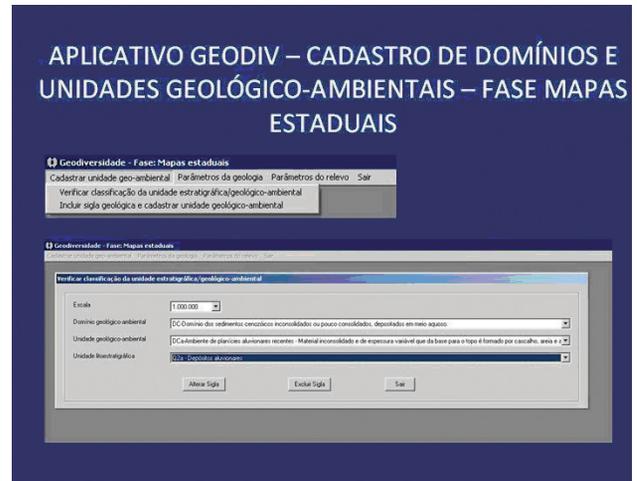


Figura 3.5 - Tela de cadastro das unidades geológico-ambientais para os mapas estaduais de geodiversidade (aplicativo GEODIV).

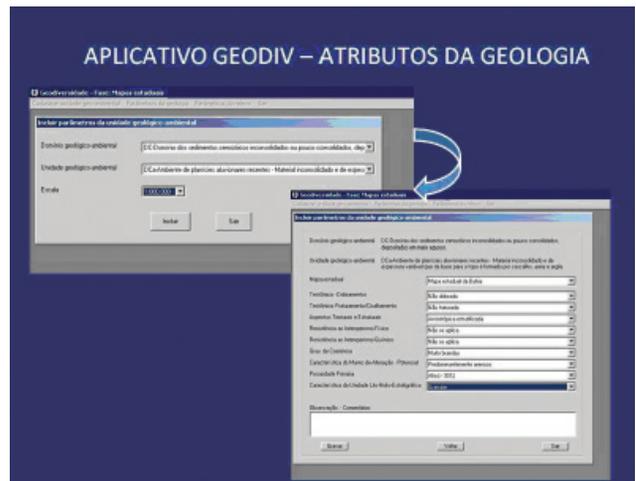


Figura 3.6 - Tela de cadastro dos atributos da geologia (aplicativo GEODIV).

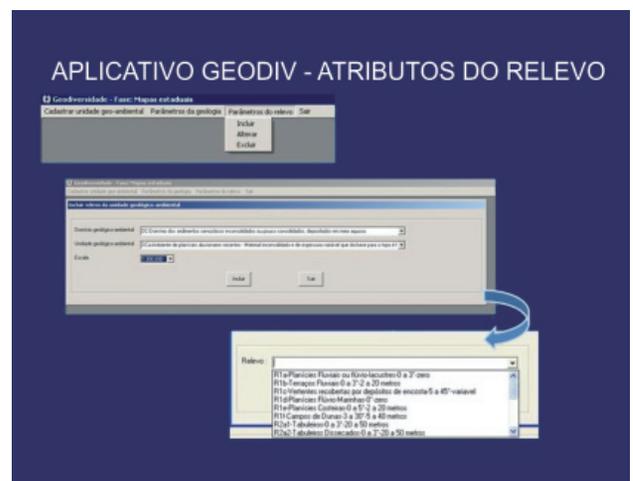


Figura 3.7 - Tela de cadastro dos atributos do relevo (aplicativo GEODIV).

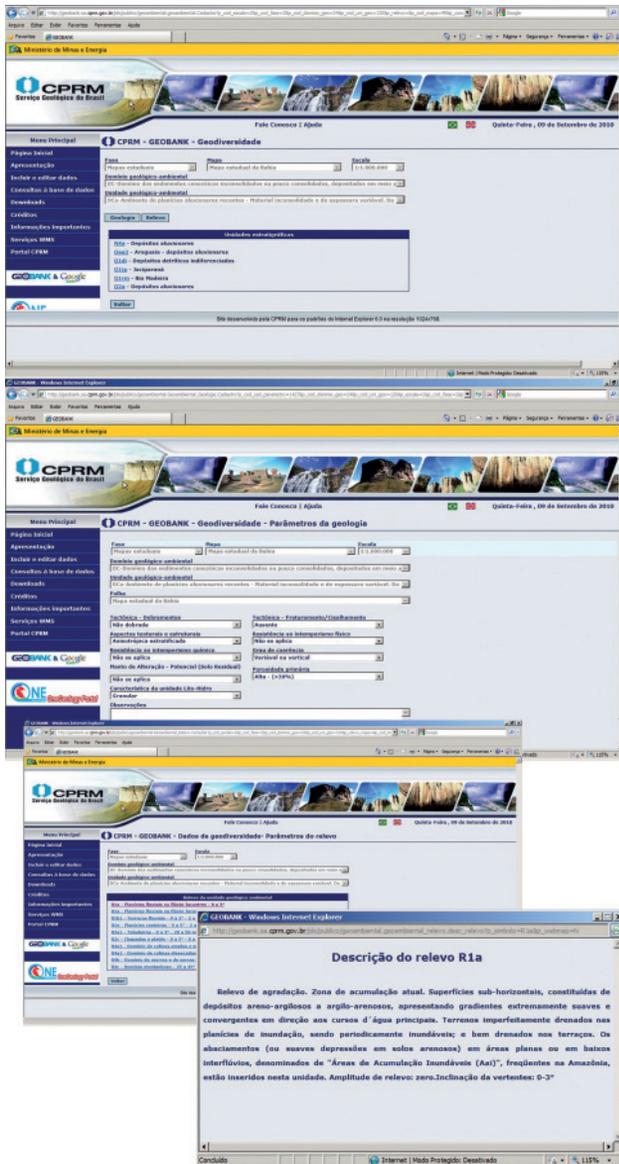


Figura 3.8 - Fluxograma simplificado da base Geodiversidade (GeoBank).

### ATRIBUTOS DOS CAMPOS DO ARQUIVO DAS UNIDADES GEOLÓGICO-AMBIENTAIS: DICIONÁRIO DE DADOS

São descritos, a seguir, os atributos dos campos que constam no arquivo shapefile da unidade geológico-ambiental.

- COD\_DOM** (CÓDIGO DO DOMÍNIO GEOLÓGICO-AMBIENTAL) – Sigla dos domínios geológico-ambientais.
- DOM\_GEO** (DESCRIÇÃO DO DOMÍNIO GEOLÓGICO-AMBIENTAL) – Reclassificação da geologia pelos grandes domínios geológicos.
- COD\_UNIGEO** (CÓDIGO DA UNIDADE GEOLÓGICO-AMBIENTAL) – Sigla da unidade geológico-ambiental.
- UNIGEO** (DESCRIÇÃO DA UNIDADE GEOLÓGICO-AMBIENTAL) – As unidades geológico-ambientais foram agrupadas



Figura 3.9 - Módulo Web Map de visualização dos arquivos vetoriais/base de dados (GeoBank).

com características semelhantes do ponto de vista da resposta ambiental a partir da subdivisão dos domínios geológico-ambientais e por critérios-chaves descritos anteriormente.

- DEF\_TEC** (DEFORMAÇÃO TECTÔNICA/DOBRAMENTOS) – Relacionado à rocha ou ao grupo de rochas que compõe a unidade geológico-ambiental.
- CIS\_FRAT** (TECTÔNICA FRATURAMENTO/CISALHAMENTO) – Relacionado à rocha ou ao grupo de rochas que compõe a unidade geológico-ambiental.
- ASPECTO** (ASPECTOS TEXTURAIS E ESTRUTURAIS) – Relacionado às rochas ígneas e/ou metamórficas que compõem a unidade geológico-ambiental.
- INTEMP\_F** (RESISTÊNCIA AO INTEMPERISMO FÍSICO) – Relacionado à rocha ou ao grupo de rochas sãs que compõe a unidade geológico-ambiental.
- INTEMP\_Q** (RESISTÊNCIA AO INTEMPERISMO QUÍMICO) – Relacionado à rocha ou ao grupo de rochas sãs que compõe a unidade geológico-ambiental.

**GR\_COER** (GRAU DE COERÊNCIA DA(S) ROCHA(S) FRESCA(S)) – Relacionado à rocha ou ao grupo de rochas que compõe a unidade geológico-ambiental.

**TEXTURA** (TEXTURA DO MANTO DE ALTERAÇÃO) – Relacionado ao padrão textural de alteração da rocha ou ao grupo de rochas que compõe a unidade geológico-ambiental.

**PORO\_PRI** (POROSIDADE PRIMÁRIA) – Relacionado à porosidade primária da rocha ou do grupo de rochas que compõe a unidade geológico-ambiental.

**AQUÍFERO** (TIPO DE AQUÍFERO) – Relacionado ao tipo de aquífero que compõe a unidade geológico-ambiental.

**COD\_REL** (CÓDIGO DOS COMPARTIMENTOS DO RELEVO) – Siglas para a divisão dos macrocompartimentos de relevo.

**RELEVO** (MACROCOMPARTIMENTOS DO RELEVO) – Descrição dos macrocompartimentos de relevo.

**GEO\_REL** (CÓDIGO DA UNIDADE GEOLÓGICO-AMBIENTAL + CÓDIGO DO RELEVO) – Sigla da nova unidade geológico-ambiental, fruto da composição da unidade geológica com o relevo. Na escala 1:1.000.000, é o campo indexador, que liga a tabela aos polígonos do mapa e ao banco de dados (é formada pelo campo **COD\_UNIGEO + COD\_REL**).

**OBS** (CAMPO DE OBSERVAÇÕES) – Campo-texto onde são descritas todas as observações consideradas relevantes na análise da unidade geológico-ambiental.

## REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. N. Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o quaternário. **Geomorfologia**, São Paulo, n. 18, p. 1-23, 1969.

ALBUQUERQUE, P. C. G.; SANTOS, C. C.; MEDEIROS, J. S. **Avaliação de mosaicos com imagens LandSat TM para utilização em documentos cartográficos em escalas menores que 1/50.000**. São José dos Campos: INPE, 2005. Disponível em: <<http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/iris@1912/2005/09.28.16.52/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 21 dez. 2009.

BARBOSA, G. V.; FRANCO, E. M. S.; MOREIRA, M. M. A. Mapas geomorfológicos elaborados a partir do sensor radar. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v. 17, n. 33, p. 137-152, jun. 1977.

BARROS, R. S. et al. Avaliação do modelo digital de elevação da SRTM na ortorretificação de imagens Spot 4. Estudo de caso: Angra dos Reis – RJ. In: SIMPÓSIO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIA DA GEOINFORMAÇÃO, 1., 2004, Recife. **Anais...** Recife: UFPE, 2004. CD-ROM.

BERGER, A. Geoindicators: what are they and how are they being used? In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 32., 2004, Florence. **Abstracts...** Florence, Italy: IUGS, 2004. v. 2, abs. 209-1, p. 972.

BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; GONÇALVES, J. H.; BARARS, F. J.; DELGADO, I. M.; ABRAM, M. B.; LEÃO NETO, R.; GERSON, M. M. M.; SANTOS, J. O. S. (Eds). **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil**. Brasília: CPRM, 2003. 673 p. [Texto, mapas & SIG].

CCRS. **Natural resources Canada**, 2004. Disponível em: <[http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/index\\_e.php](http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/index_e.php)>. Acesso em: 21 dez. 2009.

CPRM. **Mapa geodiversidade do Brasil**. Escala 1:2.500.000. Legenda expandida. Brasília: CPRM, 2006. 68 p. CD-ROM.

CPRM. **Instruções e procedimentos de padronização no tratamento digital de dados para projetos de mapeamento da CPRM**: manual de padronização. Rio de Janeiro: CPRM, 2005. v. 2.

CPRM. **Carta geológica do Brasil ao milionésimo**: sistema de informações geográficas (SIG). Brasília: CPRM, 2004. 41 CD-ROMs. Programa Geologia do Brasil.

CPRM. **Mapa geoambiental & mapa de domínios geoambientais/zonas homólogas [da] bacia do rio Gravataí**: escala 1:100.000. Porto Alegre: CPRM, 1998. 2 mapas. Programa PRÓ-GUAÍBA.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. Imagens CBERS + imagens SRTM + mosaicos GeoCover Landsat. Ambiente Spring e TerraView: sensoriamento remoto e geoprocessamento gratuitos aplicados ao desenvolvimento sustentável. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. 1 CD-ROM.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. **Imagens fotográficas derivadas de MNT do projeto SRTM para fotointerpretação na geologia, geomorfologia e pedologia**. São José dos Campos: INPE, 2004.

CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: UNICAMP, 1992. 170 p.

CUSTODIO, E.; LLAMAS, M. R. **Hidrologia subterrânea**. 2. ed. Corrigida. Barceleno: Omega, 1983. Tomo I. 1157 p. il.

DINIZ, N. C.; DANTAS, A.; SCLIAR, C. Contribuição à política pública de mapeamento geoambiental no âmbito do levantamento geológico. In: OFICINA INTERNACIONAL DE ORDENAMENTO TERRITORIAL E MINEIRO: subsídios ao mapeamento geoambiental, no contexto do LGB e do patrimônio geomineiro, 2005, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CPRM, 2005.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001.

LATRUBESSE, E.; RODRIGUES, S.; MAMEDE, L. Sistema de classificação e mapeamento geomorfológico: uma nova proposta. **GEOSUL**, Florianópolis, v. 14, n. 27, p. 682-687, 1998.

LIMA, M. I. C. **Análise de drenagem e seu significado geológico-geomorfológico**. Belém: [s.n.], 2006. CD-ROM.

MEIS, M. R. M.; MIRANDA, L. H. G.; FERNANDES, N. F. Desnívelamento de altitude como parâmetros para a compartimentação do relevo: bacia do médio-baixo Paraíba do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32., 1982, Salvador. **Anais...** Salvador: SGB, 1982, v. 4, p. 1459-1503.

OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (Ed.). **Geologia de engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998. 587 p.

PONÇANO, W. L.; CARNEIRO, C. D. R.; ALMEIDA, M. A.; PIRES NETO, A. G.; ALMEIDA, F. F. M. O conceito de sistemas de relevo aplicado ao mapeamento geomorfológico do estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 2., 1979, Rio Claro. **Atas...** Rio Claro: SBG/NS, 1979, v. 2, p. 253-262.

RAMOS, M. A. B. et al. Procedimentos no tratamento digital de dados para o projeto SIG geologia ambiental do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 43., 2006, Aracaju. **Anais...** Aracaju: SBG, 2006. 1 CD-ROM.

RAMOS, M. A. B. et al. Proposta para determinação de atributos do meio físico relacionados às unidades geológicas, aplicado à análise geoambiental. In: OFICINA INTERNACIONAL DE ORDENAMENTO TERRITORIAL E MINEIRO: subsídios ao mapeamento geoambiental, no contexto do LGB e do patrimônio geomineiro, 2005, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CPRM, 2005.

RODRIGUES, C.; COLTRINARI, L. Geoindicators of urbanization effects in humid tropical environment: São Paulo (Brazil) metropolitan area. In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 32nd, 2004, Florence. **Abstracts...** Florence, Italy: IUGS, 2004, v. 2, abs. 209-27, p. 976.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. Mapa geomorfológico do estado de São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia da FFLCH/USP**, São Paulo, v. 10, p. 41-59, 1996.

SCHOBENHAUS, C.; GONÇALVES, J. H.; SANTOS, J. O. S. **Carta geológica do Brasil ao milionésimo**: sistema de informações geográficas (SIG). Brasília: CPRM, 2004. 46 folhas na escala 1:1.000.000. 41 CD-ROMs. Programa Geologia do Brasil.

THEODOROVICZ, A. et al. **Projeto paisagens geoquímicas e geoambientais do vale do Ribeira**. São Paulo: CPRM/UNICAMP/FAPESP, 2005.

THEODOROVICZ, A.; THEODOROVICZ, A. M. de G.; CANTARINO, S. de C. **Estudos geoambientais e geoquímicos das bacias hidrográficas dos rios Mogi-Guaçu e Pardo**. São Paulo: CPRM, 2002. 1 CD-ROM.

THEODOROVICZ, A.; THEODOROVICZ, M. G.; CANTARINO, S. C. **Projeto Mogi-Guaçu/Pardo**: atlas geoambiental das bacias hidrográficas dos rios Mogi-Guaçu e Pardo - SP: subsídios para o planejamento territorial e gestão ambiental. São Paulo: CPRM, 2000. il. color.

THEODOROVICZ, A. et al. **Projeto médio Pardo**. São Paulo: CPRM, 2001.

THEODOROVICZ, A.; THEODOROVICZ, A. M. de G.; CANTARINO, S. da C. **Projeto Curitiba**: informações básicas sobre o meio físico – subsídios para o planejamento territorial. Curitiba: CPRM, 1994. 109 p. 1 mapa, escala 1:100.000, color.

TRAININI, D. R.; GIOVANNINI, C. A.; RAMGRAB, G. E.; VIERO, A. C. **Carta geoambiental da região hidrográfica do Guaíba**. Porto Alegre: CPRM/FEPAM/PRÓ-GUAÍBA, 2001.

TRAININI, D. R.; ORLANDI FILHO, V. **Mapa geoambiental de Brasília e entorno**: ZEE-RIDE. Porto Alegre: CPRM/EMBRAPA/Consórcio ZEE Brasil/Ministério da Integração, 2003.

VAZ, L. F. Classificação genética dos solos e dos horizontes de alteração de rocha em regiões tropicais. **Revista Solos e Rochas**, v. 19, n. 2, p. 117-136, 1996.

# 4

## **GEODIVERSIDADE: ADEQUABILIDADES/ POTENCIALIDADES E LIMITAÇÕES FRENTE AO USO E À OCUPAÇÃO**

Marcelly Ferreira Machado (*marcelly.machado@cprm.gov.br*)  
Sandra Fernandes da Silva (*sandra.silva@cprm.gov.br*)

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

### **SUMÁRIO**

Introdução .....	51
Domínio dos sedimentos cenozoicos inconsolidados ou pouco consolidados depositados em meio aquoso .....	51
Domínio dos sedimentos cenozoicos inconsolidados do tipo coluvião e tálus.....	53
Domínio dos sedimentos indiferenciados cenozoicos, relacionados ao retrabalhamento de outras rochas, geralmente associados a superfícies de aplainamento .....	53
Domínio das coberturas cenozoicas detritolateríticas.....	54
Domínio dos sedimentos cenozoicos pouco a moderadamente consolidados associados a tabuleiros .....	56
Domínio dos sedimentos cenozoicos e mesozoicos pouco a moderadamente consolidados, associados a profundas e extensas bacias continentais.....	57
Domínio das coberturas sedimentares e vulcanossedimentares mesozoicas e paleozoicas pouco a moderadamente consolidadas, associadas a grandes e profundas bacias sedimentares do tipo sinéclise.....	58
Domínio do vulcanismo fissural mesozoico do tipo plateau.....	60
Domínio dos complexos alcalinos intrusivos e extrusivos, diferenciados do terciário, mesozoico e proterozoico .....	62

Domínio das sequências sedimentares e vulcanossedimentares do eopaleozoico, associadas a rifts, não ou pouco deformadas e metamorfizadas...	63
Domínio das coberturas sedimentares proterozoicas, não ou muito pouco dobradas e metamorfizadas.....	64
Domínio das sequências sedimentares proterozoicas dobradas, metamorfizadas de baixo a médio grau .....	67
Domínio das sequências vulcanossedimentares proterozoicas dobradas, metamorfizadas de baixo a alto grau .....	74
Domínio das sequências vulcanossedimentares tipo <i>greenstone belt</i> , arqueano até o mesoproterozoico .....	78
Domínio dos corpos máfico-ultramáficos (suítes komatiíticas, suítes toleíticas, complexos bandados) .....	82
Domínio dos complexos granitoides não-deformados e complexos granitoides deformados.....	84
Domínio dos complexos granitoides intensamente deformados: ortognaisses.....	88
Domínio dos complexos granito-gnaiss migmatítico e granulitos .....	91

## INTRODUÇÃO

O presente capítulo retrata a influência das principais características geológicas e de relevo nos domínios e respectivas unidades geológico-ambientais identificados no estado de Minas Gerais. O estado foi compartimentado em 19 domínios geológico-ambientais, que, por sua vez, foram subdivididos em 62 unidades geológico-ambientais (Figura 4.1). Estas são identificadas, juntamente com o compartimento de relevo associado em cada domínio, em quadro individualizado, com a mesma numeração com que são distinguidas no Mapa Geodiversidade do Estado de Minas Gerais.



**Figura 4.1** - Mapa geodiversidade do estado de Minas Gerais.

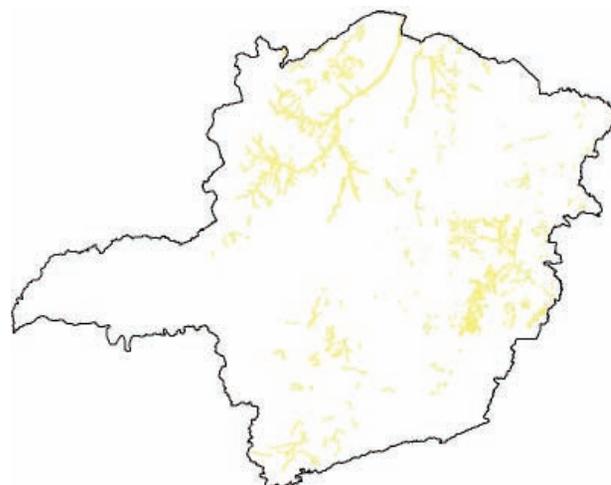
As características geológico-ambientais abordadas referem-se às adequabilidades e limitações de cada domínio frente ao uso e à ocupação e aos potenciais minerais e turísticos. Em termos de uso e ocupação, são retratados os temas: execução de obras de engenharia, agricultura, recursos hídricos superficiais e subterrâneos e implantação de fontes poluidoras.

### DOMÍNIO DOS SEDIMENTOS CENOZOICOS INCONSOLIDADOS OU POUCO CONSOLIDADOS DEPOSITADOS EM MEIO AQUOSO

Esses sedimentos têm ocorrência bem distribuída no estado e compreendem terrenos geologicamente novos, em processo de construção (Figura 4.2).

Correspondem a áreas baixas, onde ocorrem processos agradacionais (deposição e acumulação de materiais), e sustentam relevos de planícies fluviais ou fluviolacustres e terraços fluviais (Quadro 4.1).

As unidades geológico-ambientais presentes nesse domínio são compostas por materiais inconsolidados a semiconsolidados, de espessura variável, com granulometria crescente da base para o topo. São constituídas por cascalho, areia e argila, com ocorrência localizada de matéria orgânica.



**Figura 4.2** - Área de ocorrência dos sedimentos cenozoicos inconsolidados ou pouco consolidados depositados em meio aquoso no estado de Minas Gerais.

**Quadro 4.1** - Unidades geológico-ambientais e compartimentos de relevo pertencentes ao domínio dos sedimentos cenozoicos inconsolidados ou pouco consolidados depositados em meio aquoso.

Unidade Geológico-Ambiental	Compartimento de Relevo
(1) Ambiente de planície aluvionar recente.	Planícies fluviais ou fluviolacustres
(2) Ambiente de terraços aluvionares.	Planícies fluviais ou fluviolacustres
	Terraços fluviais

### Características, Adequabilidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação

#### Obras de engenharia

As unidades desse domínio apresentam como característica principal um empilhamento irregular de camadas horizontais, de constituição e espessura variadas. Tal irregularidade influencia de forma mais negativa que positiva a execução de obras.

Como outras características geotécnicas importantes, destacam-se:

- Os materiais constituintes desse domínio são pouco consolidados, o que os torna favoráveis à ocorrência localizada de zonas saturadas e enriquecidas em matéria orgânica, que, por sua vez, conferem a eles baixa capacidade de suporte, favorecendo a ocorrência de adensamentos, recalques, trincamentos e rupturas de fundações. Por outro lado, são materiais de baixa resistência ao corte e à penetração, sendo facilmente removíveis por maquinário.

- A variabilidade de características granulométricas, mineralógicas e geomecânicas no empilhamento vertical favorece a ocorrência de processos erosivos e a desestabilização durante a execução de escavações.

- O relevo suave e estável favorece o afloramento do lençol freático e/ou sua ocorrência a baixas profundidades, podendo gerar problemas para obras com escavações subterrâneas. Constituem áreas sujeitas a rápido alagamento e empoçamento, os quais podem apresentar longo tempo de duração (Figura 4.3).
- A presença de turfa e/ou solos ricos em matéria orgânica pode aumentar a acidez do terreno e provocar corrosão em estruturas enterradas.



**Figura 4.3** - Área de relevo suave com afloramento de lençol freático e ocorrência de empoçamento de água em superfície (município de Jequitibá).

### Agricultura

- Nas áreas alagadiças, há favorabilidade à ocorrência de manchas de solo com boa fertilidade natural, alta porosidade e alta capacidade de reter e fixar nutrientes. Aspecto positivo para a prática agrícola, porém, de expressão local.
- A configuração geomorfológica favorece a mecanização agrícola, principalmente no período não-chuvoso. Por outro lado, contribui para a ocorrência de empoçamentos e de lençol freático aflorante muito próximo à superfície (Figura 4.4) e de lençol freático aflorante muito próximo à superfície, tornando os terrenos inadequados ao plantio de culturas perenes e de espécies de raízes profundas.
- Para corrigir a acidez dos solos, devido ao excesso de matéria orgânica, é necessária a aplicação de calcário dolomítico de forma continuada. Entretanto, em regiões em que não há disponibilidade desse material, esse aspecto pode onerar a prática agrícola.

### Recursos hídricos e fontes poluidoras

- As características geológicas e a configuração geomorfológica e de drenagem desse domínio lhe conferem importância hídrica e alta vulnerabilidade frente à implantação de fontes poluidoras.
- O relevo tipicamente plano e as características granulométricas favorecem a infiltração e o armazenamento de águas superficiais, constituindo-se em áreas importantes para recarga de águas subterrâneas.

- Configuram aquíferos superficiais de grande importância regional, devido a facilidade de recarga, boa expressão areal, baixo custo de exploração e potencial para uso de abastecimento.
- A presença de sedimentos ricos em matéria orgânica pode alterar a coloração, o odor e o sabor da água.
- A configuração topográfica confere a esse domínio condições de drenabilidade deficiente e baixo potencial de oxidação, o que condiciona alta vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos superficiais e subterrâneos. São terrenos cujas características favorecem a concentração de poluentes terrestres e atmosféricos.



**Figura 4.4** - Afloramento de lençol freático em extensa área junto à planície fluvial (município de Moema).

### Potencial mineral

- As unidades constituintes desse domínio apresentam potencial mineral para lavra de areia, argila e cascalho para construção civil e uso industrial (Figura 4.5).
- Apresentam potencial para ocorrência de turfeiras, ouro, cassiterita, demais minerais pesados e algumas gemas (ame-tista, turmalina, água-marinha, diamante e topázio).



**Figura 4.5** - Extração de areia para uso na construção civil (rio Santo Antônio, município de Belo Oriente).

## DOMÍNIO DOS SEDIMENTOS CENOZOICOS INCONSOLIDADOS DO TIPO COLUVIÃO E TÁLUS

De ocorrência muito restrita à porção centro-sudeste do estado (Figura 4.6), esse domínio compreende terrenos geologicamente novos, onde ocorrem processos agradacionais, que sustentam terrenos planos elevados (Quadro 4.2).

A unidade geológico-ambiental inserida nesse domínio é constituída por areia e sedimentos eluviocoluvionares de granulometria e composição diversificadas. É comum a formação de depósitos de canga de espessuras variadas.



**Figura 4.6** - Área de ocorrência dos sedimentos cenozoicos inconsolidados do tipo coluvião e tálus no estado de Minas Gerais.

**Quadro 4.2** - Unidade geológico-ambiental e compartimento de relevo pertencentes ao domínio dos sedimentos cenozoicos inconsolidados do tipo coluvião e tálus.

Unidade Geológico-Ambiental	Compartimento de Relevo
(3) Coluvião e tálus.	Terrenos planos elevados

### Características, Adequabilidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação

#### Obras de engenharia

- Domínio constituído por materiais inconsolidados, de comportamento geomecânico e hidráulico muito heterogêneo, devido à composição mineralógica e textural bastante variada.
- Ocorrem blocos e matacões de rochas duras e abrasivas em meio a matriz mais fina, o que dificulta escavação e perfuração por sondagem rotativa.
- Os materiais que compõem esse domínio apresentam elevada erodibilidade e instabilidade natural, função da grande heterogeneidade geomecânica e hidráulica de seus

constituintes e das declividades associadas a esses depósitos. A execução de obras nesses terrenos requer atenção quanto à contenção de movimentos de massa natural e processos erosivos.

#### Agricultura

- Os solos originados nesse domínio apresentam textura heterogênea, com concentração de pedregulhos e matacões, característica não-favorável à prática agrícola.
- A variabilidade textural e mineralógica confere aos materiais desse domínio uma fertilidade natural diversificada, o que torna o desenvolvimento da prática agrícola não-uniforme.
- As formas de relevo associadas a esse domínio apresentam declividades inadequadas para mecanização agrícola, dificultando o desenvolvimento da prática.

#### Recursos hídricos e fontes poluidoras

- São materiais de heterogeneidade granulométrica e baixo grau de consolidação, o que lhes confere porosidade e permeabilidade elevada. Podendo se constituir em bons aquíferos superficiais.
- Constituem solos muito porosos e permeáveis, o que facilita a percolação de poluentes e contaminantes.

#### Potencial mineral

- Apresentam bom potencial para exploração de cascalho, saibro e blocos de rocha para construção civil.

## DOMÍNIO DOS SEDIMENTOS INDIFERENCIADOS CENOZOICOS, RELACIONADOS AO RETRABALHAMENTO DE OUTRAS ROCHAS, GERALMENTE ASSOCIADOS A SUPERFÍCIES DE APLAINAMENTO

Esse domínio é constituído por apenas uma unidade geológico-ambiental, relacionada a sedimentos retrabalhados de outras rochas. Tais coberturas ocupam duas pequenas áreas do território mineiro, localizadas nos extremo sul e leste do estado (Figura 4.7).

A origem desse domínio ocorreu a partir da deposição de detritos em pequenas e grandes depressões formadas em decorrência de movimentos tectônicos. Os rios e enxurradas foram os responsáveis pelo transporte desses sedimentos.

As superfícies de aplainamento, às quais esse domínio está em sua maior parte associado, foram desenvolvidas por completo processo erosivo que vigorou durante longo período de estabilidade isostática (equilíbrio do movimento vertical da litosfera) e eustática (estabilidade da variação do nível do mar). As superfícies de aplainamento assim formadas desenvolvem-se, muitas vezes, em mais de um ciclo, o que confere à unidade geológico-ambiental desse

domínio uma variação litológica composta por cascalho, areia, argila, pelito e laterita que originam coberturas detríticas indiferenciadas, as quais sustentam duas formas de relevo (Quadro 4.3).



**Figura 4.7** - Área de ocorrência dos sedimentos indiferenciados cenozoicos relacionados ao retrabalhamento de outras rochas, geralmente associados a superfícies de aplainamento no estado de Minas Gerais.

**Quadro 4.3** - Unidade geológico-ambiental e compartimentos de relevo pertencentes ao domínio dos sedimentos indiferenciados cenozoicos relacionados ao retrabalhamento de outras rochas, geralmente associados a superfícies de aplainamento.

Unidade Geológico-Ambiental	Compartimento de Relevo
(4) Relacionado a sedimentos retrabalhados de outras rochas.	Tabuleiros
	Colinoso

### Características, Adequabilidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação

#### Obras de engenharia

Como principais implicações geotécnicas, destacam-se:

- Domínio geoambiental constituído por sedimentos pouco consolidados, o que possibilita a utilização de ferramentas e maquinários de corte para escavação.
- O relevo, de superfície aplainada, confere baixo potencial de movimentos de massa à unidade.
- Como aspecto negativo, a unidade é constituída por litologias de características granulométricas e composicionais diferentes, o que favorece a desestabilização em caso de abertura de taludes.

#### Agricultura

Como particularidade para o uso agrícola, salienta-se que:

- O empilhamento irregular de camadas constituídas por cascalho, areia, argila, pelito e laterita pode interferir na qualidade do solo, função da predominância do sedimento que ocupar a porção superior do pacote sedimentar. Logo, poderá haver regiões onde predominam solos arenosos ou lateríticos que são de fertilidade natural muito baixa.

#### Recursos hídricos e fontes poluidoras

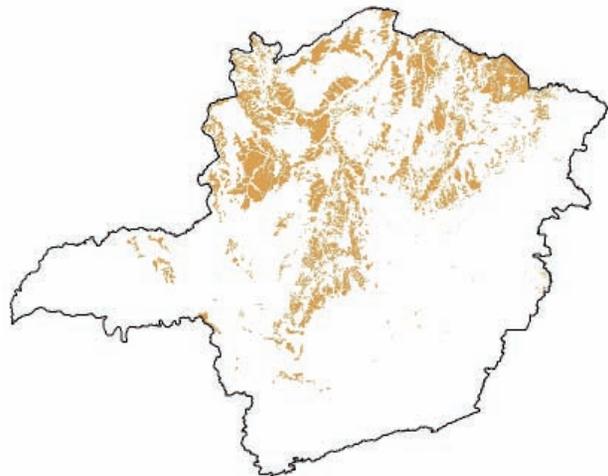
- Importante local de armazenamento e recarga de unidades inferiores, com potencial hidrogeológico variando de baixo a médio.
- Alta vulnerabilidade à contaminação: a migração dos poluentes dependerá essencialmente da natureza do terreno do aquífero, do gradiente hidráulico do lençol freático, da intensidade e continuidade da contaminação.

#### Potencial mineral

- Trata-se de uma ambiência geológica favorável à exploração de areia, argila e cascalho para utilização na construção civil.

### DOMÍNIO DAS COBERTURAS CENOZOICAS DETRITOLATERÍTICAS

Presente nas porções centro-oeste e norte do estado (Figura 4.8), esse domínio compreende terrenos onde ocorrem processos de alteração intempérica, que originam coberturas ricas em detritos ferruginosos, que sustentam diferentes relevos (Quadro 4.4). É composto por materiais diversificados: aglomerado, laterita, areia, silte e argila.



**Figura 4.8** - Área de ocorrência das coberturas cenozoicas detritolateríticas no estado de Minas Gerais.

**Quadro 4.4** - Unidade geológico-ambiental e compartimentos de relevo pertencentes ao domínio das coberturas cenozoicas detritolateríticas.

Unidade Geológico-Ambiental	Compartimento de Relevo
(5) Depósitos detritolateríticos.	Vertentes recobertas por depósitos de encostas
	Tabuleiros
	Terrenos planos elevados
	Superfícies aplainadas
	Colinoso
	Terrenos acidentados

### Características, Adequabilidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação

#### Obras de engenharia

Para esse domínio, destacam-se como importantes características geotécnicas:

- Os materiais constituintes desse domínio apresentam baixa erodibilidade natural, boa estabilidade em taludes de corte e alta capacidade de suporte, aspectos positivos tanto para abertura de estradas (Figura 4.9) como para implantação de obras de grande porte. Podem atuar, ainda, como forma de contenção e/ou minimização de processos erosivos em camadas subjacentes, quando tais camadas são dotadas de maior suscetibilidade à erosão.
- Exibem formas de ocorrência e espessuras variáveis. Há variação, também, no grau de consolidação e dureza dos materiais constituintes, porém, predominam sedimentos com resistência ao corte e à penetração moderada. São escaváveis com ferramentas e maquinários, não requerendo o uso de explosivos para desmonte.
- Apresentam bom potencial à exploração de blocos para utilização como pavimentos na construção civil.



**Figura 4.9** - Estrada aberta sobre depósitos detritolateríticos (município de Martinho Campos).

- As altas concentrações de ferro e alumínio conferem características ácidas a esses materiais, o que pode acarretar corrosão em estruturas enterradas.

#### Agricultura

- São constituídos por materiais altamente lixiviados, ricos em alumínio e, por vezes, com concentração de pedregulhos (Figura 4.10). Originam solos com fertilidade natural baixa, ácidos e de difícil correção, aspectos negativos ao desenvolvimento de práticas agrícolas.



**Figura 4.10** - Concentração de pedregulhos em depósitos lateríticos – a linha divisória destaca a região inferior do perfil com pedregulhos (município de Martinho Campos).

- Predominam formas de relevos que favorecem a mecanização agrícola – tabuleiros, terrenos planos elevados e superfícies aplainadas; porém, a ocorrência de elevada concentração de pedregulhos e lateritas dificulta a utilização de maquinário.
- O eucalipto é a principal espécie cultivada nas áreas de depósitos detritolateríticos (Figura 4.11), que se destina, principalmente, ao suprimento de matéria-prima para as indústrias de papel e celulose, siderurgia a carvão vegetal, lenha, serrados, compensados e lâminas e painéis reconstituídos (aglomerados, chapas de fibras e MDF).

#### Recursos hídricos e fontes poluidoras

- Os aquíferos formados nos materiais dessa unidade são superficiais livres e porosos. Funcionam como área de recarga ou estoque temporário para aquíferos subjacentes.
- Devido à diversificação textural de seus materiais constituintes (aglomerado, laterita, areia, silte e argila) e grande variabilidade quanto à espessura, grau de consolidação, dureza e forma de ocorrência, os aquíferos apresentam permeabilidade e potencial de exploração irregular – de baixo a médio.
- As características químicas e estruturais desse domínio condicionam baixa capacidade de retenção, fixação e eliminação de poluentes, o que confere alta vulnerabilidade à contaminação de aquíferos subjacentes.



**Figura 4.11** - Área de plantio de eucalipto (município de Martinho Campos).



**Figura 4.12** - Área de ocorrência dos sedimentos cenozoicos pouco a moderadamente consolidados associados a tabuleiros no estado de Minas Gerais.

### Potencial mineral

- São áreas potencialmente favoráveis à existência de mineralizações secundárias de ouro, bauxita, caulim, manganês e níquel.

- Apresentam potencial para exploração de diferentes materiais – areias, cascalhos, argilas – com diversas aplicações na construção civil, como pedra de cantaria, revestimento e brita.

### DOMÍNIO DOS SEDIMENTOS CENOZOICOS POUCA A MODERADAMENTE CONSOLIDADOS ASSOCIADOS A TABULEIROS

A área de ocorrência desse domínio se situa na região nordeste do estado, no limite com o estado da Bahia (Figura 4.12). A área de definição desses sedimentos corresponde às rochas sedimentares de idade terciária (aproximadamente entre 23 e 2 milhões de anos).

Há uma alternância irregular entre camadas de sedimentos de composição diversa (arenito, siltito, argilito e cascalho). Em Minas Gerais, a camada aflorante é um arenito malselecionado, de cor amarelo-clara, que sustenta relevos de superfícies conformadas por tabuleiros (Quadro 4.5).

### Características, Adequabilidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação

#### Obras de engenharia

Algumas das implicações mais importantes pertinentes a esse domínio, em função da geologia, são:

- Materiais dos mais variados comportamentos geomecânicos e hidráulicos, que favorecem a desestabilização, o processo erosivo e o aparecimento de surgência de água quando expostos em talude de corte. Entretanto, em condições naturais, devido ao relevo suavizado, essa litologia apresenta baixo potencial erosivo e de movimentos naturais de massa.

**Quadro 4.5** - Unidade geológico-ambiental e compartimento de relevo pertencentes ao domínio dos sedimentos cenozoicos pouco a moderadamente consolidados associados a tabuleiros.

Unidade Geológico-Ambiental	Compartimento de Relevo
(6) Alternância irregular entre camadas de sedimentos de composição diversa (arenito, siltito, argilito e cascalho).	Tabuleiros

- Possui baixa resistência ao corte. Pode ser escavado com facilidade por ferramentas e maquinários, o que reduz os custos em obras de engenharia.

#### Agricultura

- O predomínio de solo arenoso confere a esse domínio baixa fertilidade natural, tornando-o inadequado ao plantio de culturas de ciclo curto, pois estas exigem, em mais quantidade, os nutrientes do solo.

- A grande extensão contínua em relevos suavizados e de fácil manejo favorece a agricultura mecanizada para culturas de ciclo longo (Figura 4.13).

#### Recursos hídricos e fontes poluidoras

- A morfologia do terreno, com superfície conformada por tabuleiros, e a presença de sedimentos arenosos, facilitam a infiltração das águas da chuva. Essa condição morfolito-estrutural é favorável à existência de bons aquíferos livres.

- Entretanto, essa mesma condição torna-se um fator negativo em relação às fontes poluidoras. Tais sedimentos, bastante permeáveis, favorecem uma vulnerabilidade muito alta, por apresentar baixa capacidade de retenção e depuração de poluentes.



**Figura 4.13** - Cultura de eucalipto em relevo do tipo tabuleiros (grupo Barreiras, município de Nanuque).

### Potencial mineral

- Ambiente geológico favorável à prospecção de areia, argila, cascalho e silte de várias colorações.

## DOMÍNIO DOS SEDIMENTOS CENOZOICOS E MESOZOICOS POUCO A MODERADAMENTE CONSOLIDADOS, ASSOCIADOS A PROFUNDAS E EXTENSAS BACIAS CONTINENTAIS

Domínio constituído por conglomerados, arenitos conglomeráticos, arenitos e pelitos, de ocorrência restrita ao extremo noroeste do estado (Figura 4.14). Tais materiais exibem empilhamento irregular de camadas.

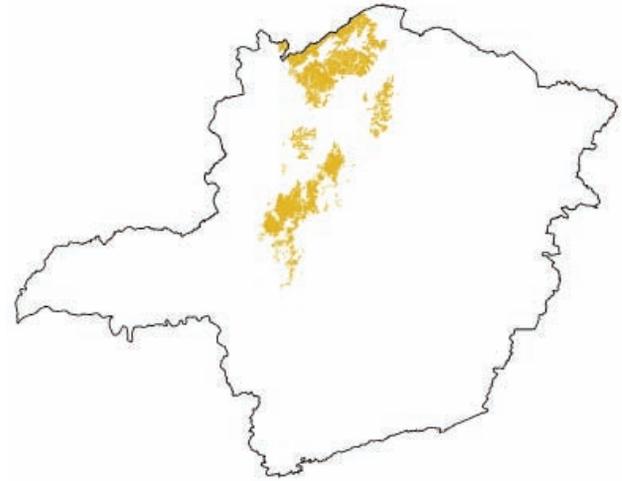
Esse domínio, que sustenta relevos diversificados (Quadro 4.6), foi formado a partir de detritos depositados em grandes depressões originadas por diferentes processos tectônicos.

### Características, Adequabilidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação

#### Obras de engenharia

Como implicações decorrentes da geologia frente à execução de obras, destacam-se:

- A unidade geológico-ambiental que compõe esse domínio tem por principal característica a predominância de sedimentos quartzosos. Estes originam solos arenosos de elevada erodibilidade, que, quando expostos em taludes de corte, deflagram facilmente processos erosivos (Figura 4.15).
- As áreas recobertas por solos dessa unidade estão sujeitas ao processo de arenização.
- Em função da predominância de sedimentos quartzosos, o manto de alteração gerado apresenta bom potencial para uso na construção civil (saibro).
- As rochas que constituem essa unidade apresentam baixa resistência ao corte. São facilmente escaváveis com o uso de maquinário leve.
- Em áreas de relevos suavizados (tabuleiros, terrenos planos elevados, superfícies aplainadas e terrenos colinosos),



**Figura 4.14** - Área de ocorrência dos sedimentos cenozoicos e mesozoicos pouco a moderadamente consolidados, associados a profundas e extensas bacias continentais no estado de Minas Gerais.

**Quadro 4.6** - Unidade geológico-ambiental e compartimentos de relevo pertencentes ao domínio dos sedimentos cenozoicos e mesozoicos pouco a moderadamente consolidados, associados a profundas e extensas bacias continentais.

Unidade Geológico-Ambiental	Compartimento de Relevo
(7) Predomínio de sedimentos arenosos de deposição continental, lacustre, fluvial ou eólica – arenitos.	Tabuleiros
	Terrenos planos elevados
	Superfícies aplainadas
	Colinoso
	Terrenos acidentados

o potencial para ocorrência de processos erosivos e de movimentos naturais de massa é baixo. Já em áreas de relevo acidentado, é elevado.

#### Agricultura

- O predomínio de sedimentos quartzosos origina solos com fertilidade natural baixa, ácidos e permeáveis. A alta permeabilidade lhes confere baixa capacidade para armazenar água, reter nutrientes e assimilar matéria orgânica, assim como dificulta o desenvolvimento de práticas agrícolas de ciclo curto.
- As áreas de relevos suaves (tabuleiros, terrenos planos elevados e colinosos) são favoráveis à utilização de maquinário motorizado, o que se constitui em um aspecto positivo para atividade de manejo.

#### Recursos hídricos e fontes poluidoras

- O predomínio de sedimentos e solos residuais quartzo-arenosos condiciona altas porosidades e permeabilidades; conferindo a esse domínio alto potencial para recarga e armazenamento de água subterrânea.
- Por sua vez, solos muito porosos e permeáveis apresentam baixa capacidade de reter e fixar poluentes, o que acarreta vulnerabilidade muito alta à contaminação das águas subterrâneas.



**Figura 4.15** - Talude de corte em manto de alteração arenoso. (a) vista geral do afloramento; (b) detalhe de feição erosiva gerada por processo de ravinamento (município de Bonito de Minas).

Potencial mineral

- Os materiais constituintes do domínio exibem elevado potencial para prospecção de areia e argila vermelha.

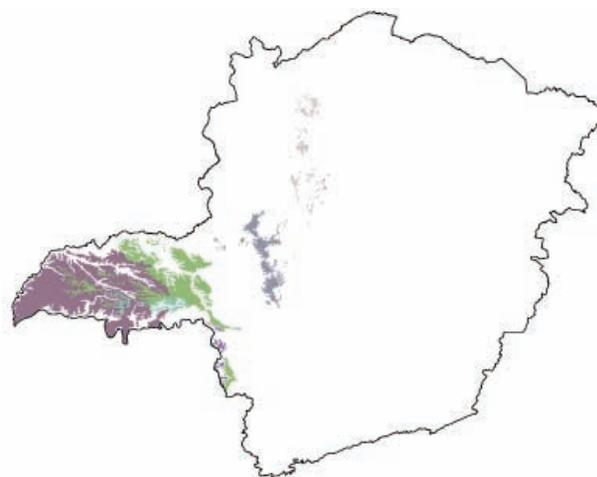
Potencial turístico

- A configuração morfolitoestrutural desse domínio é favorável à ocorrência de lugares de grande beleza cênica, esculpidos por processos erosivos. Merecem destaque parques estaduais e federais, como: Grande Sertão Veredas, Veredas do Peruaçu, Veredas do Acari e Pandeiros.

**DOMÍNIO DAS COBERTURAS SEDIMENTARES E VULCANOSSEDIMENTARES MESOZOICAS E PALEOZOICAS POUCA A MODERADAMENTE CONSOLIDADAS, ASSOCIADAS A GRANDES E PROFUNDAS BACIAS SEDIMENTARES DO TIPO SINÉCLISE**

Esse domínio ocorre em extensa área na porção oeste, correspondente ao Triângulo Mineiro, e na porção noroeste do estado (Figura 4.16).

É composto por seis unidades geológico-ambientais, constituídas predominantemente por rochas sedimentares e vulcânicas: arenitos, conglomerados, siltitos, diamictitos, folhelhos, rocha sedimentar vulcanoclástica, tufo lapilítico e calcários. Tais litologias sustentam diferentes relevos (Quadro 4.7).



**Figura 4.16** - Área de ocorrência das coberturas sedimentares e vulcanossedimentares mesozoicas e paleozoicas pouco a moderadamente consolidadas, associadas a grandes e profundas bacias sedimentares do tipo sinéclise no estado de Minas Gerais.

**Quadro 4.7** - Unidades geológico-ambientais e compartimentos de relevo pertencentes ao domínio das coberturas sedimentares e vulcanossedimentares mesozoicas e paleozoicas pouco a moderadamente consolidadas, associadas a grandes e profundas bacias sedimentares do tipo sinéclise.

Unidade Geológico-Ambiental	Compartimento de Relevo
(8) Predomínio de sedimentos arenosos malselecionados.	Terrenos planos elevados
	Colinoso
(9) Predomínio de espessos pacotes de arenitos de deposição eólica.	Colinoso
	Terrenos acidentados
(10) Predomínio de espessos pacotes de arenitos de deposição mista (eólica e fluvial).	Tabuleiros
	Terrenos planos elevados
	Colinoso
(11) Intercalações de sedimentos arenosos, siltico-argilosos e folhelhos.	Terrenos acidentados
	Tabuleiros
	Terrenos planos acidentados
	Superfície aplainada
(12) Predomínio de arenitos vulcanoclásticos (tufo cinerfíticos).	Colinoso
	Terrenos acidentados
	Terrenos planos elevados
	Superfície aplainada
	Terrenos acidentados

## Características, Adequabilidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação

### Obras de engenharia

Os aspectos geotécnicos, tanto positivos quanto negativos, importantes de consideração, são:

- Destacam-se as unidades onde predominam espessos pacotes de arenitos. Estes possuem boa homogeneidade geomecânica e hidráulica lateral e vertical. As demais unidades possuem boa homogeneidade lateral.
- Predominam sedimentos pouco a moderadamente consolidados, de fácil escavação, utilizando-se apenas ferramentas e maquinários de corte.
- Como aspecto negativo, nota-se que camadas horizontalizadas de diferentes litologias implicam características geomecânicas e hidráulicas bastante diferentes, facilitando as desestabilizações e os processos erosivos em taludes de corte (Figura 4.17).
- Os solos das unidades com presença de sedimentos siltico-argilosos, geralmente constituídos por argilas expansivas, são difíceis de ser perfurados com sonda rotativa, como também se fendilham e soltam placas com facilidade em taludes de corte.
- Em locais onde os pacotes de arenitos estão bem consolidados, os solos apresentam alta resistência ao corte e à penetração.



**Figura 4.17** - Processo erosivo em sedimentos arenosos (município de São Gonçalo do Abaeté).

### Agricultura

- Os solos argilosos se apresentam em diferentes graus de dureza quando secos e plásticos; quando molhados, mostram-se pegajosos, como também retêm mais umidade que os arenosos. Por sua vez, os solos arenosos, além de geralmente não apresentar características de dureza, plasticidade e pegajosidade, secam mais rapidamente que os argilosos.

De maneira geral, os solos argilosos têm maior capacidade de retenção de água e nutrientes que os arenosos. Partículas de argila são caracterizadas por tamanhos extremamente pequenos, por grande área externa por unidade de peso e pela presença de cargas em sua superfície, por isso atraem íons (nutrientes) e água. Como a água é essencial à ação dos processos químicos e biológicos do solo, é evidente que o conteúdo de umidade retido pelo material de solo argiloso é de grande influência no desenvolvimento das plantas.

- Onde o relevo se apresenta de forma mais suave, há favorabilidade para a agricultura mecanizada (Figura 4.18).



**Figura 4.18** - Plantação de cana-de-açúcar em relevo plano (município de Sacramento).

### Recursos hídricos e fontes poluidoras

- As unidades em que predominam sedimentos arenosos (quando não intensamente silicificados e com presença de fraturas) são boas armazenadoras e transmissoras de água.
- As propriedades físicas do solo (textura, estrutura, densidade, porosidade, permeabilidade, fluxo de água, ar e calor) são responsáveis pelos mecanismos de atenuação física de poluentes, como filtragem e lixiviação. Nas unidades onde as camadas aflorantes são de sedimentos siltico-argilosos ou de rochas calcárias, estas dão origem a solos de baixa permeabilidade com boa capacidade de reter poluentes, diminuindo o risco de contaminação do lençol freático. Já nas unidades em que predominam sedimentos arenosos, há aquíferos porosos e muito permeáveis, de muito alta vulnerabilidade à contaminação.

### Potencial mineral

- Potencial para utilização do arenito como pedra de revestimento, desde que essa rocha se encontre silicificada.
- Ocorrência de minerais de argila e calcário, que podem ser utilizados para fins industriais e artesanais. Veja-se, por exemplo, a extração desses minerais no município de Uberaba.

## Potencial turístico

- Encontra-se nesse domínio o Sítio Paleontológico de Peirópolis (Figura 4.19), o qual está inserido na unidade geológico-ambiental 8, constituída pelos arenitos da Formação Uberaba. São encontrados diversos tipos de fósseis, destacando-se os de dinossauros. O sítio é considerado um dos maiores e mais importantes do Brasil e está localizado no distrito de Peirópolis, município de Uberaba.

- Outro geossítio situado nesse domínio é o Sítio Geomorfológico Pico do Itacolomy do Buritizeiro (Figura 4.20), localizado no município de Buritizeiro, que forma um belíssimo monumento natural esculpido em arenito do Grupo Areado.



**Figura 4.19** - (a) Um dos locais de escavações do Sítio Paleontológico de Peirópolis; (b) detalhe do sítio, mostrando o arenito malselecionado, onde são encontrados diversos tipos de fósseis.

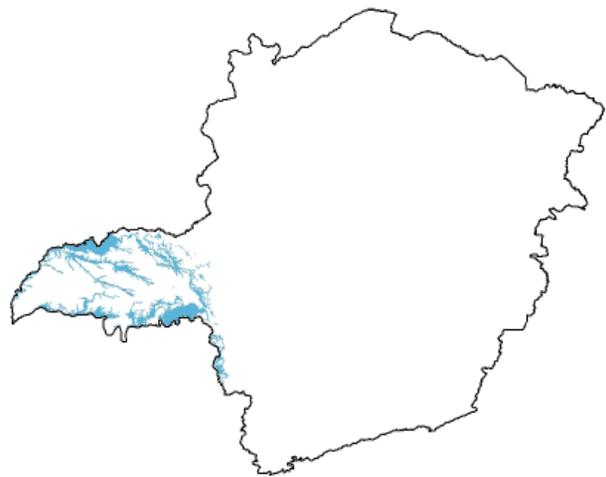


**Figura 4.20** - Sítio Geomorfológico Pico do Itacolomy do Buritizeiro: morro-testemunho esculpido em arenitos do grupo Areado.

## DOMÍNIO DO VULCANISMO FISSURAL MESOZOICO DO TIPO *PLATEAU*

Domínio de ocorrência restrita à porção situada no extremo oeste do estado (Figura 4.21), com origem relacionada a evento magmático extrusivo, ocorrido sob forma de sucessivos derrames de lavas de grande fluidez.

A unidade geológico-ambiental que compõe esse domínio é constituída por basaltos, riolitos, dacitos, arenitos, litarenitos e arenitos vulcânicos. Sustentam relevos planos, colinosos e acidentados (Quadro 4.8).



**Figura 4.21** - Área de ocorrência do vulcanismo fissural mesozoico do tipo plateau no estado de Minas Gerais.

**Quadro 4.8** - Unidade geológico-ambiental e compartimentos de relevo pertencentes ao domínio do vulcanismo fissural mesozoico do tipo *plateau*.

Unidade Geológico-Ambiental	Compartimento de Relevo
(14) Predomínio de basalto.	Terrenos planos elevados
	Superfícies aplainadas
	Colinoso
	Terrenos acidentados

### Características, Adequabilidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação

#### Obras de engenharia

- As principais características que merecem destaque nesse domínio são:
- As rochas constituintes desse domínio apresentam alta capacidade de suporte a obras, assim como boa homogeneidade, tanto geomecânica como hidráulica, o que representa aspectos positivos para execução de obras.
- Apresentam elevada resistência ao corte e à compressão e são difíceis de escavar. Para desmonte de maciço, faz-se necessário o uso de explosivos, o que onera a execução da obra.
- Em maciços muito fraturados, o potencial de ocorrência de quedas de bloco e/ou surgência de água em taludes de corte é alto (Figura 4.22).
- As rochas, quando são ou muito pouco alteradas, apresentam potencial para uso como agregados – emprego em pavimentos de rodovias e calçamentos de vias – e rochas ornamentais.



**Figura 4.22** - Taludes de corte com exposição de litotipo muito fraturado, com elevado potencial de queda de blocos, detalhe de talude em maciço pouco alterado (município de Prata).

- O processo de alteração nas litologias desse domínio é heterogêneo, o que acarreta a existência de blocos e/ou matacões em meio ao solo. Isso dificulta a execução de obras subterrâneas e pode gerar instabilização de edificações (Figura 4.23)

- Os solos originados nesse domínio têm boa capacidade de compactação, baixa erodibilidade e boa estabilidade. Quando expostos em taludes de corte, apresentam baixa suscetibilidade à ocorrência de processos erosivos e movimentos de massa (Figura 4.24).

- O manto de alteração gerado pelas litologias desse domínio apresenta potencial para usos como material de empréstimo.

#### Agricultura

- Os solos originados são argilossiltosos, porosos, permeáveis e com baixa erodibilidade natural. Apresentam elevada capacidade para reter/fixar nutrientes e incorporar matéria orgânica. São naturalmente ricos em nutrientes (Ca, Mg e Fe). Constituem os solos tipo Terra-Roxa, excelentes para o desenvolvimento de práticas agrícolas. No estado, destaca-se o cultivo de café nos locais de ocorrência desses solos (Figura 4.25).

- Em áreas de relevo plano e suave (terrenos planos elevados, superfícies aplainadas e terrenos colinosos), os solos são favoráveis ao uso de mecanização agrícola.

- Quando o processo de pedogênese é avançado, são originados solos com alta concentração de ferro e alumínio; em consequência, solos ácidos e corrosivos.

- Esses solos, se mecanizados continuamente com equipamentos pesados ou pisoteados por gado, compactam-se, impermeabilizam-se e se tornam suscetíveis à erosão laminar.

#### Recursos hídricos e fontes poluidoras

- O potencial hidrogeológico das rochas desse domínio é irregular, devido a configurarem aquíferos fissurais. Com isso, o potencial é determinado pelo grau de fraturamento do maciço, que varia de um local para outro.

- O manto de alteração gerado apresenta permeabilidade moderada a baixa, aspecto desfavorável à recarga de águas subterrâneas.

- Constituem solos com capacidade de reter, fixar e eliminar poluentes, o que caracteriza baixa vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas de unidades subjacentes. Tal aspecto é mais acentuado em locais onde há manto de alteração espesso atuando como barreira natural à migração de poluentes.

- Maciços rochosos muito fraturados apresentam permeabilidade fissural, característica favorável à percolação de poluentes. Em áreas de relevo colinoso, há favorabilidade à percolação de poluentes, devido à pouca espessura dos solos que recobrem o maciço fraturado.



**Figura 4.23** - Presença de bloco de rocha pouco alterada em meio ao solo (município de São Sebastião do Paraíso).



**Figura 4.24** - Material de boa estabilidade, com baixo potencial à ocorrência de movimentos de massa e processos erosivos. (A) solo; (B) rocha muito alterada/saprólito (município de São Sebastião do Paraíso).



**Figura 4.25** - Área de ocorrência do solo originado da unidade geológico-ambiental 14. (a) área com plantio de café; (b) detalhe do solo tipo terra-roxa (município de São Sebastião do Paraíso).

## DOMÍNIO DOS COMPLEXOS ALCALINOS INTRUSIVOS E EXTRUSIVOS, DIFERENCIADOS DO TERCIÁRIO, MESOZOICO E PROTEROZOICO

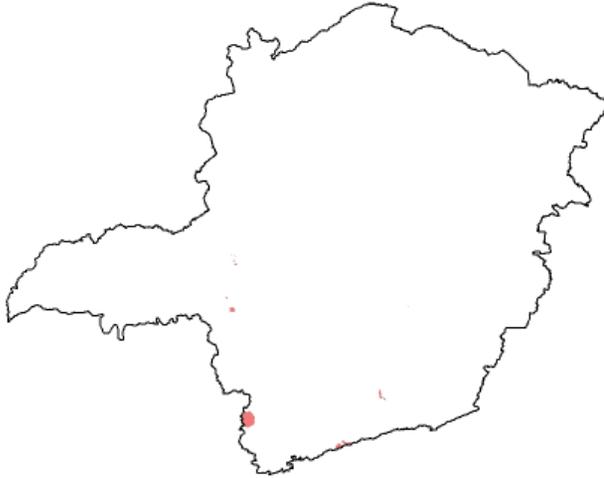
Domínio originado por eventos magmáticos intrusivos e extrusivos pontuais, de ocorrência localizada na porção extremo sudoeste do estado (Figura 4.26).

As unidades geológico-ambientais desse domínio são constituídas por dunitos, carbonatitos, sienitos, lavas alcalinas, tufos, fonólitos, peridotitos, piroxenitos e gabros, que sustentam terrenos amplos elevados, acidentados e colinosos (Quadro 4.9).

### Características, Adequabilidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação

#### Obras de engenharia

- As rochas desse domínio apresentam elevada resistência ao corte e à compressão. Não são facilmente escaváveis, necessitando de explosivos para execução de desmonte de maciço rochoso.
- As litologias da unidade geológico-ambiental 15 exibem heterogeneidade lateral de características mecânicas e hidráulicas, o que favorece a desestabilização em taludes de corte, como a ocorrência de quedas de bloco e a surgência de água.
- As rochas das unidades geológico-ambientais 15 e 17 sofrem processo de alteração heterogêneo. Quando originam manto de alteração profundo, a ocorrência de blocos e/ou matacões em meio ao solo é potencializada. Tal aspecto dificulta a execução de obras subterrâneas e pode gerar instabilização de edificações.



**Figura 4.26** - Área de ocorrência dos complexos alcalinos intrusivos e extrusivos, diferenciados do Terciário, Mesozoico e Proterozoico no estado de Minas Gerais.

**Quadro 4.9** - Unidades geológico-ambientais e compartimentos de relevos pertencentes ao domínio dos complexos alcalinos intrusivos e extrusivos, diferenciados do Terciário, Mesozoico e Proterozoico.

Unidade Geológico-Ambiental	Compartimento de Relevô
(15) Tufo, brecha e demais materiais piroclásticos.	Colinoso
	Terrenos acidentados
(16) Série alcalina saturada e alcalina subsaturada (sienito, quartzossienitos, traquitos, nefelina-sienito, sodalita-sienito etc.).	Terrenos acidentados
(17) Gabro, anortosito, carbonatito, dique de lamprôfiro.	Terrenos amplos elevados
	Colinoso
	Terrenos acidentados

- Os solos argilosos desse domínio apresentam, quando evoluídos, permeabilidade moderada, erodibilidade baixa e boa estabilidade em taludes de corte, o que se constitui em aspecto positivo para execução de obras.

- Solos evoluídos apresentam potencial para uso como material de empréstimo.

- De forma geral, as litologias desse domínio originam solos com alta capacidade de compactação. Quando submetidos a cargas elevadas, sofrem impermeabilização, o que acarreta aceleração do processo de erosão laminar.

- Argilominerais expansivos, comuns em solos da unidade geológico-ambiental 15, condicionam a ocorrência do fenômeno de empastilhamento e geram instabilidade em talude de corte se submetidos à alternância dos estados úmidos e secos.

## Agricultura

- De modo geral, os solos originados das litologias desse domínio são ricos em nutrientes e apresentam boa fertilidade natural, capacidade de reter e fixar nutrientes e boa assimilação de matéria orgânica. São porosos, com boa capacidade hídrica e permeabilidade variável, entre baixa (solos pouco evoluídos) e moderada (solos bem evoluídos).
- Os solos das unidades geológico-ambientais 16 e 17 são ricos em magnésio.
- Solos ricos em alumínio podem acarretar problemas por acidez.

## Recursos hídricos e fontes poluidoras

- Os aquíferos associados a esse domínio são fissurais. Apresentam potencial de exploração irregular, condicionado por características estruturais e climáticas, aspectos que variam de local para local.

## Potencial mineral

- As litologias constituintes do domínio apresentam potencial para uso como rocha ornamental, brita e pedra de cantaria; além de ambiência geológica favorável à ocorrência de cobre, apatita, magnetita, bauxita, urânio, terras-raras, níquel, cromo, caulim, nióbio, titânio e rochas fosfáticas.
- A unidade geológico-ambiental 15 exhibe potencial mineral para exploração de urânio, tório, terras-raras e alumínio.

## Potencial turístico

- A unidade geológico-ambiental 15 apresenta potencial turístico focado nas qualidades medicinais das águas subterrâneas, a exemplo de Poços de Caldas. A região é caracterizada por ocorrência de chaminé vulcânica preservada, configurando um local de grande beleza cênica, além das características medicinais das águas.

## DOMÍNIO DAS SEQUÊNCIAS SEDIMENTARES E VULCANOSSEDIMENTARES DO EOPALEOZOICO, ASSOCIADAS A RIFTS, NÃO OU POUCO DEFORMADAS E METAMORFIZADAS

Esse domínio, pouco representativo, ocupa uma área de apenas 7 km<sup>2</sup> na porção sul do estado (Figura 4.27).

É representado por uma única unidade geológico-ambiental, composta por metarenito, metarenito arcoseano, metarenito feldspático, metassiltito e metaconglomerado polimítico. Sustenta um relevo do tipo terrenos acidentados (Quadro 4.10).



**Figura 4.27** - Área de ocorrência das sequências sedimentares e vulcanossedimentares do Eopaleozoico, associadas a *riffts*, não ou pouco deformadas e metamorfizadas no estado de Minas Gerais.

**Quadro 4.10** - Unidade geológico-ambiental e compartimento de relevo pertencente ao domínio das sequências sedimentares e vulcanossedimentares do Eopaleozoico, associadas a *riffts*, não ou pouco deformadas e metamorfizadas.

Unidade Geológico-Ambiental	Compartimento de Relevo
(18) Predomínio de rochas sedimentares.	Terrenos acidentados

### Características, Adequabilidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação

#### Obras de engenharia

- Litologias com baixa a moderada resistência ao corte e à penetração.
- Empilhamento irregular de camadas de várias espessuras e de litologias de composições diferentes, o que confere a essa unidade características geomecânicas e hidráulicas bem diferentes.
- Os sedimentos síltico-argilosos, que podem ser finamente laminados e de alta fissibilidade, geralmente portadores de argilominerais expansivos, fendilham-se bastante e se desestabilizam com facilidade em talude de corte.

#### Agricultura

- Essa unidade se encontra em relevo acidentado (montanhoso), o qual, associado a litologias que se alteram para solos bem diferenciados, dificulta o manejo de práticas agrícolas.

#### Recursos hídricos e fontes poluidoras

- Camadas horizontalizadas e sub-horizontalizadas, com permeabilidade e porosidade variadas, diferentemente tec-

tonizadas, favoráveis à existência de importantes armadilhas hidrogeológicas.

- Possibilidade de ocorrência de aquíferos confinados e semi-confinados, dos tipos poroso e fraturado.
- A vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas pode variar bastante, de local para local, de baixa a alta, dependendo da permeabilidade e porosidade das litologias, que são bastante irregulares.
- Em locais onde a rocha aflora, há possibilidade de contaminação do aquífero por meio de fraturas que conduzem os poluentes, rapidamente, ao lençol freático.
- Em alguns locais, a permeabilidade e a porosidade dos sedimentos arenosos podem estar prejudicadas pela silicificação ou diagênese acentuada.

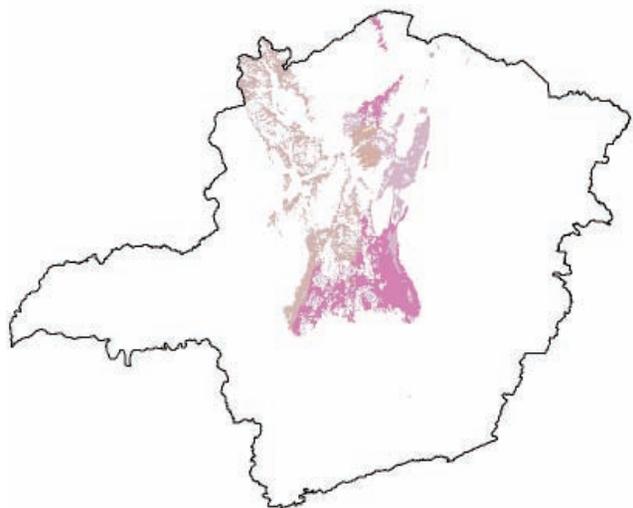
#### Potencial mineral

- Ambiência geológica favorável à extração de areia, argila e cascalho.

### DOMÍNIO DAS COBERTURAS SEDIMENTARES PROTEROZOICAS, NÃO OU MUITO POUCO DOBRADAS E METAMORFIZADAS

Esse domínio é formado por coberturas sedimentares antigas, sendo bastante representativo no estado. Composto por quatro unidades geológico-ambientais, encontra-se bem distribuído nas regiões central e norte-noroeste do estado de Minas Gerais (Figura 4.28).

Apresenta diversas formas de relevo, sustentadas por diferentes litologias: diamictito, metaconglomerado, quartzito, arenito, arcóseo, argilito, siltito, calcarenito, marga, ardósia, calcário e folhelho (Quadro 4.11).



**Figura 4.28** - Área de ocorrência das coberturas sedimentares proterozoicas, não ou muito pouco dobradas e metamorfizadas no estado de Minas Gerais.

**Quadro 4.11** - Unidades geológico-ambientais e compartimentos de relevos pertencentes ao domínio das coberturas sedimentares proterozoicas, não ou muito pouco dobradas e metamorizadas.

Unidade Geológico-Ambiental	Compartimento de Relevo
(19) Predomínio de sedimentos arenosos e conglomeráticos, com intercalações subordinadas de sedimentos siltico-argilosos.	Tabuleiros
	Terrenos amplos elevados
	Superfícies aplainadas
	Terrenos acidentados
(20) Predomínio de sedimentos siltico-argilosos, com intercalações subordinadas de arenitos e grauvacas.	Tabuleiros
	Terrenos planos elevados
	Superfícies aplainadas
	Relevo residual
	Colinoso
	Terrenos acidentados
(21) Rochas calcárias, com intercalações subordinadas de sedimentos siltico-argilosos e arenosos.	Tabuleiros
	Terrenos planos elevados
	Superfícies aplainadas
	Colinoso
(22) Predomínio de sedimentos siltico-argilosos, com intercalações subordinadas de rochas calcárias.	Tabuleiros
	Superfícies aplainadas
	Relevo residual
	Colinoso
	Terrenos acidentados

### Características, Adequabilidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação

#### Obras de engenharia

As características geotécnicas desse domínio sofrem influência de parâmetros geológicos, que atuam de forma mais negativa que positiva.

- Boa parte dessas unidades se encontra em relevo colinoso, o que condiciona potencial erosivo e de movimentos de massa baixo (Figura 4.29). A densidade de drenagem é baixa, assim como o manto de alteração é profundo e de baixa resistência ao corte e à penetração.
- Apresentam pacotes sedimentares espessos e extensos, com boa homogeneidade geomecânica e hidráulica lateral.
- Sedimentos siltico-argilosos de alta cerosidade e excessivamente plásticos. Oferecem resistência à escavação e à perfuração por sondas.
- Nas unidades geológico-ambientais 21 e 22, ocorre dissolução da rocha calcária em contato com a água, o que favorece a formação de grutas e cavernas, sujeitas a desmoronamento, podendo causar colapso na superfície. Não se deve construir sobre dolinas ou próximo a elas, pois constituem áreas sujeitas a solapamento.
- Camadas de litologias diferentes implicam descontinuidades geomecânicas que se desestabilizam com maior facilidade em talude de corte.
- As camadas litológicas representadas por metarenitos têm

baixa resistência ao cisalhamento, ou seja, se forem submetidas a esforço, quebram-se; quando tais camadas são expostas em talude de corte, tornam-se vulneráveis à percolação de fluido e ao desprendimento de blocos.

- Ocorrência de sedimentos siltico-argilosos em finas camadas, geralmente portadores de argilominerais expansivos. Estes fendilham-se, soltam placas e se desestabilizam com facilidade em talude de corte (Figura 4.30). Os solos residuais e com pedogênese pouco avançada sofrem o fenômeno do empastilhamento, ou seja, desagregam-se em pequenas pastilhas, tornando-se bastante erosivos e colapsíveis se submetidos à alternância de estados seco e úmido.



**Figura 4.29** - Relevo colinoso, uma das formas de relevo que ocorre com frequência na área de definição (município de Jaboticatubas).



**Figura 4.30** - (a) erosão em sulco em argilito verde, induzida pela exposição em talude de corte de solos contendo argilominerais expansivos; (b) detalhe do afloramento mostrando o empastilhamento que se forma com a desagregação da rocha (município de Córrego Danta).

## Agricultura

- Pacotes de litologias variadas, as quais se alteram de forma diferenciada, podendo dar origem a solos agrícolas tanto muito bons como muito ruins.
- Em locais com relevos mais acentuados, além de maior dificuldade para o uso de maquinários agrícolas, a qualidade dos solos é muito variável.
- Nas unidades geológico-ambientais 20, 21 e 22, predominam rochas que se alteram para solos argilossiltosos pouco permeáveis e bastante porosos. Estes apresentam boa capacidade para reter nutrientes e manter o solo úmido por longo tempo, o que favorece a agricultura.
- As rochas calcárias geram solos de boa fertilidade natural (alcalinos de baixa acidez), sendo indicados para o cultivo de plantas.
- Na unidade geológico-ambiental 19, predominam sedimentos que dão origem a solos arenosos, de baixa fertilidade natural, muito permeáveis, logo, não conseguem reter a água por longo tempo, tornando-se inadequados para a agricultura, principalmente no que diz respeito ao cultivo de plantas de ciclo curto.
- As unidades geológico-ambientais 21 e 22 são formadas por litologias que originam solos argilosos de baixa permeabilidade, que sofrem alta erosão hídrica laminar se forem continuamente mecanizados por maquinários pesados e/ou pisoteados por gado.

## Recursos hídricos e fontes poluidoras

- As intercalações de rochas permeáveis e pouco permeáveis geram potencial para a existência de aquíferos confinados e semiconfinados.
- Unidades formadas por camadas horizontalizadas e sub-horizontalizadas de características hidrodinâmicas e estruturais bem diferenciadas, o que condiciona configuração morfolitoestrutural favorável a armadilhas hidrogeológicas, relacionadas a falhas, fraturas e mudanças de litologia com permeabilidades bem diferentes.
- Na unidade geológico-ambiental 21, o potencial hidrogeológico é bastante irregular, dependendo da existência e do tamanho das cavidades e das condições climáticas locais: em uma mesma área, um poço pode ter alta vazão e outro, ao lado, ser seco; a qualidade do aquífero pode estar comprometida pelo excesso de carbonatos e magnésios, que dá origem a água salobra.
- Em solos pouco evoluídos, de origem calcária, os aquíferos podem ser facilmente contaminados, devido ao fraturamento existente nesse tipo de rocha, como também pela formação de dolinas e sumidouros, constituindo-se, assim, em uma ligação direta dos agrotóxicos e poluentes para as águas subterrâneas. Onde são profundos, o risco de contaminação dos aquíferos é baixo, já que são solos pouco permeáveis.

## Potencial mineral

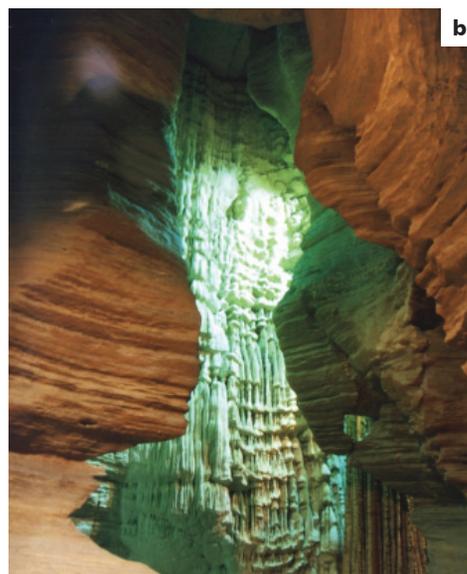
- Depósitos e ocorrências de pedra preciosa (diamante); fósforo, bastante utilizado como nutriente para o solo (in-

sumos para a agricultura); argila, amplamente utilizada em diversos segmentos industriais; calcário e ardósia, utilizados na construção civil; dolomitos, que funcionam como corretivo de solos.

- Potencial para ocorrência de conglomerados diamantíferos, areia e saibro.

## Potencial turístico

- As rochas calcárias originam um relevo cárstico, caracterizado pela dissolução química (corrosão) das rochas, que leva à formação de cavernas, grutas (Figura 4.31), paredes rochosas expostas e lapiás. Muitas dessas formas são encontradas nas regiões de Sete Lagoas e Lagoa Santa, formando belas paisagens.
- A serra de Santa Helena, constituída por colinas suaves, côncavas e convexas (Figura 4.32), é um local de grande beleza cênica.



**Figura 4.31** - Atrativos geoturísticos em regiões com ocorrência de rochas calcárias. (a) Gruta Rei do Mato (Sete Lagoas); (b) Gruta da Lapinha (Lagoa Santa).

Fonte: <<http://ultimaparada.wordpress.com/2009/05/24/fosseis-voltam-para-lagoa-santa-apos-200-anos/>>.

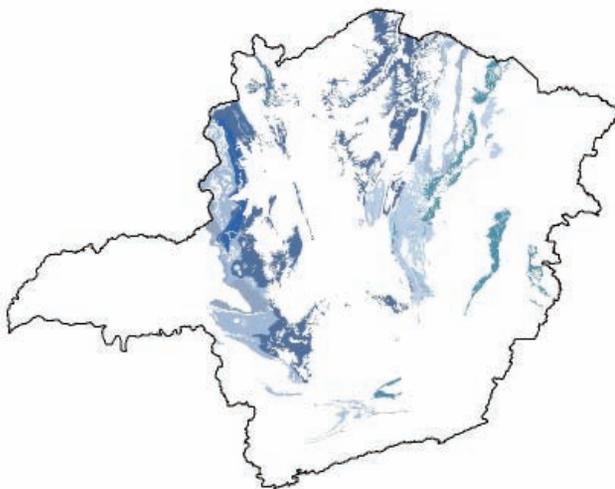


**Figura 4.32** - Serra de Santa Helena, local de grande beleza paisagística, esculpida sobre siltitos (município de Luz).

### DOMÍNIO DAS SEQUÊNCIAS SEDIMENTARES PROTEROZOICAS DOBRADAS, METAMORFIZADAS DE BAIXO A MÉDIO GRAU

Esse domínio tem origem associada à sedimentação em grandes bacias oceânicas, as quais, posteriormente, sofreram processo de tectonismo distensivo e compressivo, responsáveis por sua exposição em superfície.

As unidades geológico-ambientais que compõem esse domínio apresentam ampla distribuição no estado (Figura 4.33) e são constituídas por diferentes litotipos: quartzitos, filitos, pelitos, metadiamicititos, tufo, formações ferríferas, metaconglomerados, metavulcânicas félsicas, varvitos, tilitos, calcários, margas, calcarenitos, calcissiltitos, dolomitos e turmalinitos. Os litotipos citados sustentam diferentes tipos de relevo (Quadro 4.12).



**Figura 4.33** - Área de ocorrência das sequências sedimentares proterozoicas dobradas, metamorfozadas de baixo a médio grau no estado de Minas Gerais.

**Quadro 4.12** - Unidades geológico-ambientais e compartimentos de relevos pertencentes ao domínio das sequências sedimentares proterozoicas dobradas, metamorfozadas de baixo a médio grau.

Unidade Geológico-Ambiental	Compartimento de Relevo
(23) Metarenito, quartzitos e metaconglomerados.	Terrenos planos elevados
	Superfícies aplainadas
	Relevo residual
	Colinoso
	Terrenos acidentados
(24) Predomínio de metarenitos e quartzitos, com intercalações irregulares de metassedimentos síltico-argilosos e formações ferríferas ou manganíferas.	Terrenos planos elevados
	Terrenos acidentados
(25) Intercalações irregulares de metassedimentos arenosos e síltico-argilosos.	Terrenos planos elevados
	Superfícies aplainadas
	Colinoso
	Terrenos acidentados
(26) Predomínio de metassedimentos síltico-argilosos, com intercalações de meta-grauvacas.	Terrenos planos elevados
	Superfícies aplainadas
	Colinoso
	Terrenos acidentados
(27) Intercalações irregulares de metassedimentos arenosos, metacalcários, calcissilicáticas e xistos calcíferos.	Planícies fluviais e fluvialacustres
	Vertentes recobertas por depósitos de encostas
	Terrenos planos elevados
	Colinoso
	Terrenos acidentados
(28) Predomínio de metacalcários, com intercalações subordinadas de metassedimentos síltico-argilosos e arenosos.	Terraços fluviais
	Tabuleiros
	Terrenos planos elevados
	Superfícies aplainadas
	Relevo residual
	Colinoso
(29) Predomínio de sedimentos síltico-argilosos, com intercalações subordinadas de arenitos.	Terrenos acidentados
	Planaltos e baixos platôs
	Chapadas e platôs
	Superfícies aplainadas
	Relevo residual
	Colinoso
Terrenos acidentados	

### Características, Adequabilidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação

#### Obras de engenharia

Destacam-se como particularidades geotécnicas importantes:

- Em função da diversidade litológica que constitui esse

domínio e da complexidade deformacional associada, as unidades geológico-ambientais apresentam grande variação lateral e vertical de suas características geotécnicas (Figura 4.34). Tais irregularidades são traduzidas em termos de características granulométricas, mineralógicas, hidráulicas e geomecânicas, tanto do substrato como dos solos.

- De modo geral, as unidades desse domínio ocorrem com elevado grau de fraturamento e outras descontinuidades geomecânicas, o que facilita a percolação de fluidos e ocorrência de instabilizações em taludes de corte (Figura 4.35). Isso requer maior nível de atenção no que se refere a medidas de contenção quanto a deslizamentos, deslocamentos e quedas de blocos durante a execução de obras.

- As unidades geológico-ambientais 23 e 24 apresentam elevada capacidade de compactação e suporte a obras, além de elevada resistência ao corte e à penetração por sondagem.

Não são facilmente removíveis por maquinário, podendo requerer o uso de explosivo para desmonte do maciço.

- O manto de alteração derivado dessas rochas (unidades geológico-ambientais 23 e 24) é predominantemente arenoso e apresenta potencial para utilização como material de empréstimo – saibro e areia. Esses solos estão mais sujeitos ao fenômeno de liquefação, assim como apresentam alto potencial de ocorrência de processos erosivos quando expostos à ação da água superficial (Figura 4.36).

- Manto de alteração argilossiltoso de pedogênese avançada, gerado de litologias arenosas e siltico-argilosas intercaladas com rochas químicas (unidades geológico-ambientais 26, 27, 28 e 29), apresenta baixa erodibilidade natural, boa capacidade de compactação e boa estabilidade em taludes de corte (Figura 4.37), o que caracteriza um aspecto positivo para execução de obras.



**Figura 4.34** - Taludes de corte com exposição de litotipos com diferentes características geomecânicas. (a) talude em quartzito com diferente constituição mineralógica e textural (município de Rio Pardo de Minas); (b) talude com exposição de dois litotipos diferentes – quartzito ferruginoso e xisto hematítico (município de Berilo).



**Figura 4.35** - (a) detalhe de descontinuidades geomecânicas (acamamentos e planos de fratura) com presença de umidade (município de Carrancas); (b) talude de corte com elevado grau de fraturamento e alto potencial para queda de blocos (município de Cambuquira)



**Figura 4.36** - Exemplo de talude de corte em manto de alteração derivado da unidade geológico-ambiental 23, com elevada suscetibilidade à erosão – sulcos e ravinas. Muro de contenção erguido como tentativa de conter o avanço do processo erosivo (município de Belo Oriente).



**Figura 4.37** - Talude de corte em solo com boa estabilidade e baixo potencial erosivo (município de Córrego Fundo).



- Manto de alteração muito evoluído, originado de unidades calcárias (unidade geológico-ambiental 28), exibe bom potencial para uso como agregado e material de empréstimo. Por outro lado, mantos de alteração pouco evoluídos são suscetíveis à ocorrência de movimentos de massa e processos erosivos (Figura 4.38).

- Unidades geológico-ambientais, com predomínio de litologias finamente laminadas (25, 26, 27 e 29), apresentam alta fissibilidade, alto potencial de movimentos naturais de massa e elevado potencial de desestabilização em taludes de corte e naturais, tanto de rocha sã como alterada (Figura 4.39). Podem gerar problemas quando o ângulo de mergulho da face do talude é paralelo ao ângulo de mergulho da foliação, acamamento ou xistosidade. Nesse caso, o potencial para movimentos de massa e queda de blocos é mais acentuado (Figura 4.40).

- Litologias com predomínio de calcário (unidade geológico-ambiental 28) estão sujeitas à ocorrência de colapsos.



**Figura 4.38** - Processo erosivo em manto de alteração pouco evoluído; voçorocas desenvolvidas em encosta natural (município de São Roque de Minas).



**Figura 4.39** - Exemplos de movimento de massa em litologias finamente laminadas. (a) deslocamento de material medianamente alterado, com formação de cunhas paralelas ao mergulho de face do talude (município de Sacramento); (b) movimento de massa por rastejo (município de Belo Oriente).



**Figura 4.40** - Exemplos de movimento de massa e queda de blocos em litologias com mergulho da xistosidade concordante ao mergulho da face do talude. (a) escorregamento planar em talude de corte de material levemente alterado (município de Guarda-Mor); (b) queda de blocos em talude de metapelitos (município de Lagamar).

## Agricultura

Como particularidades importantes para o desenvolvimento de práticas agrícolas, destacam-se:

- Solos siltico-argilosos, gerados de litologias arenosas e siltico-argilosas intercaladas com rochas químicas (unidades geológico-ambientais 26, 27, 28 e 29), são porosos e apresentam boa resposta ao processo de adubação. Retêm e mantêm nutrientes e matéria orgânica, o que caracteriza um aspecto positivo ao desenvolvimento de práticas agrícolas (Figura 4.41). Por outro lado, quando continuamente mecanizados por maquinário pesado, compactam-se excessivamente, o que acarreta impermeabilização e aumento do processo de erosão hídrica. Em áreas que apresentam excesso de alumínio, os solos tornam-se ácidos.
- Unidades geológico-ambientais com predomínio de meta-renitos e quartzitos (23 e 24, respectivamente) apresentam baixa fertilidade natural, pouca capacidade hídrica, baixa capacidade de reter e fixar nutrientes. São de difícil correção e quase não assimilam matéria orgânica. Quando origina-



**Figura 4.41** - Área de cultivo de leguminosas (feijão) em solo originado da unidade geológico-ambiental 28 (município de Bambuí).

dos de unidades ferromanganesianas, podem apresentar problemas de acidez.

- Litologias caracterizadas por intercalações irregulares de sedimentos arenosos e siltico-argilosos (unidade geológico-ambiental 25) apresentam características variáveis quanto ao potencial de desenvolvimento agrícola. Estas são determinadas em função da maior ou menor proporção dos sedimentos que as compõem.

## Recursos hídricos e fontes poluidoras

Quanto às potencialidades e limitações frente aos recursos hídricos e à implantação de fontes poluidoras, destacam-se:

- Devido ao tectonismo complexo atuante nessas litologias, predominam aquíferos fissurais com potencial irregular, que apresentam capacidade de exploração que varia de local para local.
- Unidades geológico-ambientais com metassedimentos siltico-argilosos (25, 26, 27 e 29) apresentam baixo potencial armazenador e circulador de água. As litologias são pouco permeáveis e com poucas estruturas; logo, desfavoráveis à recarga de água subterrânea.
- A unidade geológico-ambiental 28 (predomínio de metacalcários) apresenta aquíferos cársticos. Estes têm potencial de carga e descarga rápida, potencial de exploração irregular e podem apresentar o fenômeno conhecido como “água dura” – excesso de carbonato na água.
- O manto de alteração evoluído de litologias calcárias (unidade geológico-ambiental 28) tem potencial para aplicação como camada de retenção de elementos químicos (*liners*). Quando pouco evoluído, oferece alta vulnerabilidade de contaminação às águas subterrâneas por poluentes.
- À semelhança dos solos pouco evoluídos da unidade geológico-ambiental 28, os solos quartzoarenosos das unidades geológico-ambientais 23 e 24 oferecem alta vulnerabilidade de contaminação por poluentes à água subterrânea. Esses solos apresentam baixa capacidade de reter e fixar poluentes.

## Potencial mineral

- As unidades desse domínio apresentam potencial favorável à ocorrência de mineralizações de chumbo, prata, cobre, ferro, manganês, ouro, fosfato, barita e fluorita, ardósias, quartzitos, turfas, rochas calcárias e diamantes.

- Nos municípios de Galileia, Divino das Laranjeiras, São Geraldo do Baixo e Conselheiro Pena (unidade geológico-ambiental 27), ocorrem muitos garimpos de pedras preciosas – turmalina e berilo (Figura 4.42).



**Figura 4.42** - Gemas extraídas da unidade geológico-ambiental 27, no município de Galileia.

(a) detalhe de ocorrência de turmalinas e (b) de berilo.

## Potencial turístico

- Diversos geossítios, que caracterizam pontos de beleza cênica e de importante registro histórico, estão contidos nesse domínio, como: Pico do Itambé e Conglomerado Sopa-Brumadinho (unidade geológico-ambiental 24) (Figura 4.43); Cachoeira Casca d'Anta, Canyon do Talhado (Figura 4.44),



**Figura 4.43** - (a) vista parcial do pico do Itambé (município de Santo Antônio do Itambé); (b) e (c) detalhes de afloramento típico do conglomerado Sopa-Brumadinho (município de Diamantina).

Morro da Pedra Rica e grutas da Serra da Ibitipoca (unidade geológico-ambiental 26); Estromatólitos Conophyton de Cabeludo, grutas do Vale do Peruáçu (Figura 4.45) e cavernas do Carste de Lagoa Santa (unidade geológico-ambiental 28); Estromatólitos Colunares do Córrego do Carrapato (unidade geológico-ambiental 29).

- Áreas de relevos montanhosos, como nas regiões de Diamantina e Grão Mogol (serra do Espinhaço), Tiradentes (serra de São José) e de São Roque de Minas (serra da Canastra), caracterizam paisagens de grande beleza cênica que atuam como atrativos para o desenvolvimento turístico (Figura 4.46).

- Nas áreas em que o tectonismo atuou de forma mais pronunciada sobre as irregularidades verticais e laterais de litologias, ocorrem belíssimas cachoeiras e corredeiras, como na região de Carrancas, Diamantina, Morro do Pilar, São Roque de Minas. Tais estruturas favorecem o desenvolvimento do turismo de aventura e o ecoturismo (Figura 4.47).

- As unidades geológico-ambientais 23 e 27 apresentam potencial turístico nas regiões de Diamantina e Araçuaí, devido à ocorrência de diamantes e outras gemas. Estão inseridas no contexto do roteiro turístico mineral do estado.



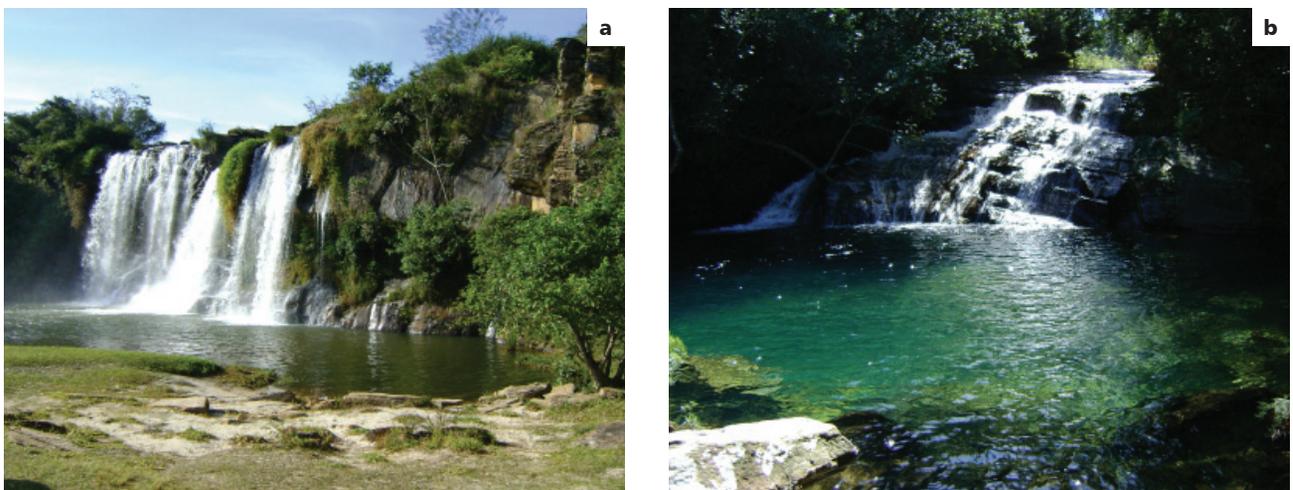
**Figura 4.44** - (a) vista da cachoeira Casca d'Anta (município de São Roque de Minas); (b) vista parcial do Canyon do Talhado (município de Serranópolis de Minas).



**Figura 4.45** - (a) afloramento de Estromatólitos Conophyton de Cabeludo (município de Vazante); (b) vista da parte interna da gruta do Janelão – Parque Nacional Cavernas do Peruáçu (município de Januária).



**Figura 4.46** - Exemplos de paisagens de grande beleza cênica.  
(a), (b) vista parcial da serra da Canastra; (c) vista parcial da serra do Espinhaço ao fundo (localidade de Vau, município de Grão Mogol);  
(d) relevo de morros (município de Lagamar).



**Figura 4.47** - Cachoeiras presentes no município de Carrancas.  
(a) unidade geológico-ambiental 23;  
(b) unidade geológico-ambiental 25.

## DOMÍNIO DAS SEQUÊNCIAS VULCANOSSEDIMENTARES PROTEROZOICAS DOBRADAS, METAMORFIZADAS DE BAIXO A ALTO GRAU

De ampla distribuição pelo estado de Minas Gerais, esse domínio é geologicamente complexo, constituído por diversas litologias: metacherts, dolomitos, itabiritos, anfibolitos, filitos, quartzitos, xistos, formações ferríferas, gnaisses, metadiamictitos, metagrauvas, metarriolitos, metaconglomerados, granitos e ultramafitos (Figura 4.48).

A geomorfologia dessas unidades se apresenta em formas de relevo basicamente dos tipos colinoso e terrenos acidentados (Quadro 4.13), sendo esse último o mais representativo do domínio.

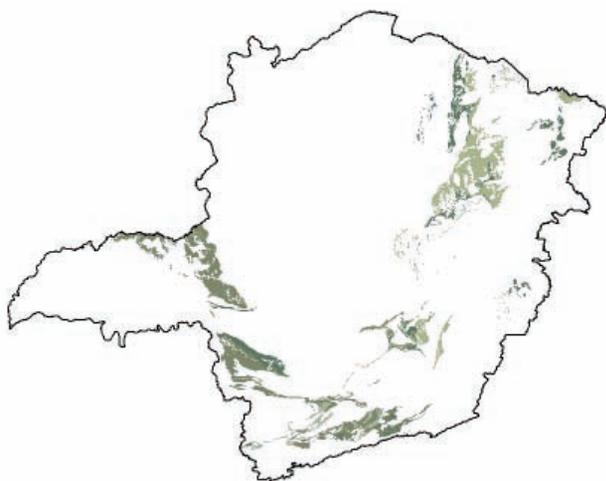
### Características, Adequabilidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação

#### Obras de engenharia

Esse domínio é constituído por unidades com diferentes características geológicas (Figura 4.49). Possui uma complexa associação litológica de variadas composições químico-minerais e diferentemente dobradas, metamorfozadas e tectonizadas, que lhe conferem vários aspectos negativos e positivos em obras de engenharia.

- Predomínio de rochas com características geomecânicas e hidráulicas relacionadas a falhas, fraturas e xistocidades muito diferentes (Figura 4.50), que facilitam a desestabilização em talude de corte.

- Profundidade do substrato rochoso bastante irregular; ensaio geotécnico tem pouca representatividade lateral e vertical; obras lineares exigem grande número de ensaios geotécnicos de materiais coletados de várias profundidades e em malha pouco espaçada; custos elevados na fase de planejamento e na de execução das obras.



**Figura 4.48** - Área de ocorrência das sequências vulcanossedimentares proterozoicas dobradas, metamorfozadas de baixo a alto grau no estado de Minas Gerais.

**Quadro 4.13** - Unidades geológico-ambientais e compartimentos de relevos pertencentes ao domínio das sequências vulcanossedimentares proterozoicas dobradas, metamorfozadas de baixo a alto grau.

Unidade Geológico-Ambiental	Compartimento de Relevo
(30) Predomínio de quartzito.	Terrenos planos elevados
	Colinoso
	Terrenos acidentados
(31) Predomínio de metassedimentos siltico-argilosos, representados por xistos.	Terrenos planos elevados
	Superfície aplainada
	Colinoso
(32) Predomínio de rochas metacalcárias, com intercalações de finas camadas de metassedimentos siltico-argilosos.	Colinoso
	Terrenos acidentados
(33) Metacherts, metavulcânicas, formações ferríferas e/ou formações manganêsíferas, metacalcários, metassedimentos arenosos e siltico-argilosos.	Planícies fluviais ou fluviolacustres
	Terrenos planos elevados
	Superfície aplainada
	Relevo residual
	Colinoso
(34) Metagrauvas, metarenito, tufo e metavulcânica básica a intermediária.	Terrenos acidentados
	Terrenos planos elevados
(35) Predomínio de rochas metabásicas e metaultamáficas.	Colinoso
	Terrenos acidentados
(36) Predomínio de vulcânicas ácidas.	Colinoso
	Terrenos acidentados



**Figura 4.49** - Empilhamento irregular de finos estratos horizontalizados, com intercalações de camadas argilosas e arenosas, o que implica comportamentos geomecânicos e hidráulicos diferentes (município de Mariana).



**Figura 4.50** - Talude em corte de estrada em seqüências sedimentares com processo erosivo mais evoluído na camada xistosa, devido à diferença geotécnica entre os litotipos (município de São Domingos do Prata).



**Figura 4.52** - Movimento de massa em talude de corte formado a partir do plano de contato entre camadas litológicas de comportamento geotécnico diferente (município de São Domingos do Prata).

- As rochas quartzíticas apresentam alta resistência ao corte e à penetração (Figura 4.51). São normalmente bastante fraturadas, podendo provocar deslocamentos e queda de blocos.
- As rochas calcárias e as de composição básico-ultrabásica são de baixa resistência ao intemperismo químico, originando solos com manto intemperico profundo, de resistência mecânica fraca.
- Metassedimentos síltico-argilosos xistosos apresentam maior potencial para movimento de massa e podem se apresentar instáveis em talude de corte, em função de os planos de xistosidade funcionarem como descontinuidades (Figura 4.52).
- Em rochas metacalcárias, é comum a ocorrência de dolinas e cavidades subterrâneas com alto potencial de colapso, sendo consideradas áreas de risco geológico para ocupação humana.



**Figura 4.51** - Quartzito resistente ao corte e à penetração; as setas mostram locais com marcas de meia-cana, indicativo do uso de explosivos (município de Itamarandiba).

- As rochas vulcânicas ácidas possuem alta resistência ao corte e à penetração; originam solos de baixa fertilidade natural, pois possuem alto teor de sílica e baixo teor de magnésio e cálcio.
- As rochas das unidades geológico-ambientais 35 e 36 alteram-se de forma heterogênea, deixando blocos e matões em meio aos solos, que podem se movimentar em taludes de corte e desestabilizar obras se as fundações forem parcialmente apoiadas sobre eles.
- Os quartzitos são rochas mais resistentes ao intemperismo e apresentam maior capacidade de suporte que os metapelitos.
- Predomínio de rochas que se alteram para solos argilosos, que, quando bem evoluídos, possuem baixa erodibilidade natural e boa estabilidade em talude de corte.

## Agricultura

- A maior parte dessas unidades sustenta um relevo do tipo terrenos acidentados (montanhoso), com solos rasos, impróprios para a agricultura.
- Por apresentarem características físico-químicas muito diferentes, a qualidade agrícola dos solos dessas unidades pode variar de muito boa a muito ruim em um mesmo local, principalmente em locais onde o relevo é acidentado.
- As rochas calcárias, metabásicas e metaultramáficas se alteram para solos argilosos de boa fertilidade natural e apresentam ótimas características físicas para a agricultura, desde que as condições de relevo sejam favoráveis.
- As rochas à base de quartzo alteram para solos rasos, arenosos e ácidos; possuem baixa capacidade de reter nutrientes e respondem mal à adubação.
- Nas unidades geológico-ambientais 31 a 36, predominam litologias que se alteram para solos argilosos que podem sofrer compactação, impermeabilização e gerar alta erosão hídrica se forem frequentemente mecanizados com maquinários pesados e/ou pisoteados pelo gado.

## Recursos hídricos e fontes poluidoras

- No geral, esse domínio possui aquíferos fissurais de potencial hidrogeológico local muito variável.
- Rochas com capacidade de conter boas armadilhas hidrogeológicas, associadas a falhas, fraturas e mudanças litológicas.
- Rochas calcárias podem ter bons aquíferos associados a cavernas e rios subterrâneos.
- Geralmente, as rochas desse domínio estão associadas a muitas fraturas, pelas quais os poluentes podem alcançar rapidamente os aquíferos (Figura 4.53).
- Predomínio de litologias que se alteram para solos argilosos, com boa capacidade de reter, fixar e eliminar poluentes.
- Predominância de relevos acidentados (montanhoso), com canais de drenagem de alta energia que têm grande potencial de oxigenação e depuração de poluentes (Figura 4.54).
- Nas unidades geológico-ambientais 31, 35 e 36, predominam litologias e solos pouco permeáveis, desfavoráveis à existência de bons aquíferos.



**Figura 4.53** - Quartzito fraturado em várias direções, aspecto que favorece a infiltração de poluentes, com consequente contaminação de aquíferos (município de Bom Jesus da Penha).



**Figura 4.54** - Relevo montanhoso de vertente côncava; feição com canais de drenagem de alta energia que aumentam o potencial de oxigenação da água superficial (município de Mariana).

- A unidade geológico-ambiental 32 possui um potencial hidrogeológico irregular, em função da existência e do tamanho das cavidades e das condições climáticas locais.

## Potencial mineral

- Ambiente geológico, no geral, favorável à ocorrência de gemas e pedras preciosas, como, por exemplo, diamante, turmalina e água-marinha; minerais metálicos, a exemplo de ouro, ferro e manganês; potencial para minerais não-metálicos, como argila, areia, feldspato e cascalho (Figura 4.55).
- A unidade geológico-ambiental 30 apresenta potencial para exploração de areia e quartzito para revestimento.
- A unidade geológico-ambiental 32 exibe potencial para rocha ornamental, cimento, cal e diversos usos industriais.
- A unidade geológico-ambiental 33 tem ambiência geológica favorável à existência de depósitos de ferro e manganês (Figura 4.56).



**Figura 4.55** - Fábrica de cerâmica: argila para utilização na indústria (município de Abadia dos Dourados).



**Figura 4.56** - Itabirito, formação ferrífera bandada da unidade geológico-ambiental 23 (município de Caeté).

## Potencial turístico

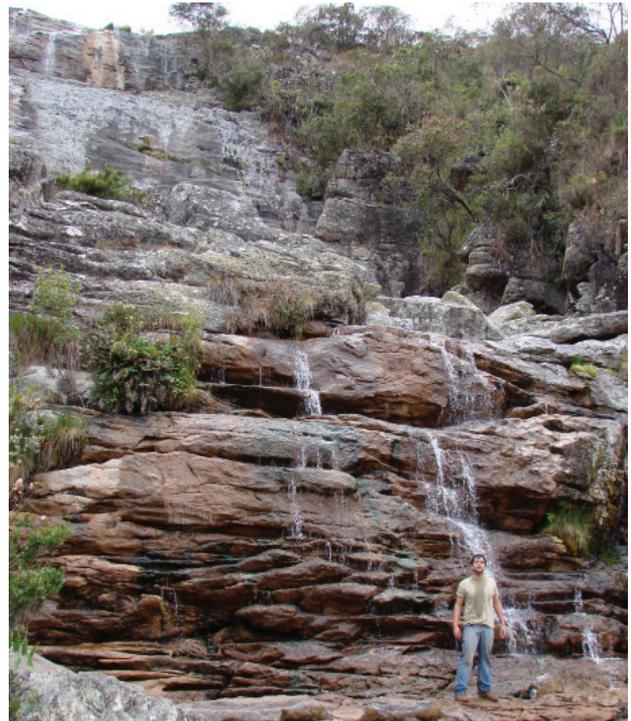
- A geologia, juntamente com o relevo acidentado, predominante nesse domínio, proporciona um riquíssimo potencial turístico.
- Estão inseridas nesse domínio cidades turísticas como as históricas Ouro Preto e Mariana, associadas ao ciclo da mineração; Araxá, famosa por seus banhos de lama medicinal; e Lambari, conhecida por sua estância hidrotermal.
- Esse domínio apresenta também belíssimas paisagens serranas, associadas à diversidade litológica e ao relevo movimentado (Figura 4.57).
- As rochas quartzíticas, associadas a relevos acidentados, são responsáveis pela formação de belas cachoeiras (Figura 4.58), corredeiras e poços; por exemplo, o balneário Paraíso



**Figura 4.57** - Belíssimas paisagens, associadas ao relevo acidentado sustentado por grande variação litológica: (a) região do Quadrilátero Ferrífero (município de Mariana); (b) serra do Caraça (município de Santa Bárbara).

Perdido, localizado no município de São João Batista do Glória (Figura 4.59).

- Encontram-se nesse domínio os geossítios Mina da Passagem (Figura 4.60), Pico do Itabira e Serra da Piedade-Quadrilátero Ferrífero (Figura 4.61), classificados como Sítio da História da Geologia e da Mineração, associados à unidade geológico-ambiental 33; e o geossítio Bacia do Gandarela, classificado como Sítio Paleambiental Sedimentar Estratigráfico, associado à unidade geológico-ambiental 32.



**Figura 4.58** - Cachoeira Cascatinha, Santuário do Caraça (município de Santa Bárbara).



**Figura 4.59** - Paraíso Perdido, balneário com belos poços, cachoeira e corredeiras (município de São João Batista do Glória).



**Figura 4.60** - Mina da Passagem, antiga mina de ouro aberta à visitação pública. (a) acesso à mina por *trolley* (carrinho de trilho); (b) interior da mina formada por diversas galerias (município de Mariana).



**Figura 4.61** - (a) igreja; (b) Cruzeiro. Pontos do Geossítio Serra da Piedade, Santuário de Nossa Senhora da Piedade, divisa entre os municípios de Caeté e Sabará.

**DOMÍNIO DAS SEQUÊNCIAS  
VULCANOSSEDIMENTARES TIPO  
GREENSTONE BELT, ARQUEANO ATÉ O  
MESOPROTEROZOICO**

Domínio formado, predominantemente, por litologias sedimentares e vulcânicas: anfibolitos, argilitos, xistos, quartzitos, metassiltitos, filitos, metagrauvacas, formações ferríferas, gnaisses, komatiitos, metabásicas, metaultrabásicas, metaultramáficas e metavulcânicas (ácidas e ultramáficas).

Essas litologias ocorrem na porção sudeste do estado (Figura 4.62) e sustentam relevos dos tipos terrenos acidentados, colinosos e tabuleiros (Quadro 4.14).

**Características, Adequabilidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação**

Obras de engenharia

Como importantes particularidades geotécnicas, destacam-se:



**Figura 4.62** - Área de ocorrência das sequências vulcanossedimentares tipo greenstone belt, Arqueano até o Mesoproterozoico no estado de Minas Gerais.

**Quadro 4.14** - Unidades geológico-ambientais e compartimentos de relevos pertencentes ao domínio das seqüências vulcanossedimentares tipo *greenstone belt*, Arqueano até o Mesoproterozoico.

Unidade Geológico-Ambiental	Compartimento de Relevo
(37) Sequência vulcânica komatiítica, associada a talco-xistos, anfíbolitos, cherts, formações ferríferas e metaultrabásitos.	Colinoso
	Terrenos acidentados
(38) Predomínio de seqüência sedimentar.	Tabuleiros
	Colinoso
	Terrenos acidentados
(39) Sequência vulcanossedimentar, com alta participação de metavulcânicas ácidas e intermediárias.	Colinoso
	Terrenos acidentados
(40) Sequência vulcanossedimentar.	Colinoso
	Terrenos acidentados

- Domínio caracterizado por irregularidades verticais de litologias, que são dotadas de diferentes aspectos mineralógicos, hidráulicos e geomecânicos.

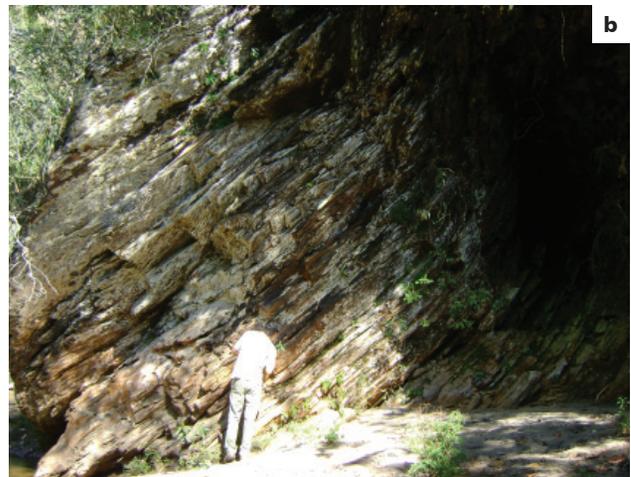
- Devido a intenso fraturamento e dobramento presentes nos maciços e à variabilidade no padrão de mergulhos dos estratos, as unidades geológico-ambientais desse domínio apresentam alto potencial para ocorrência de deslocamento e queda de blocos em taludes de corte (Figura 4.63).

- Em função de marcante estratificação planoparalela dos metassedimentos siltico-argilosos e xistosidade das metavulcânicas, as unidades desse domínio não se adequam ao uso como agregados, pois o processo de britagem e/ou quebra manual gera fragmentos com formas lamelares de pequenas dimensões (Figura 4.64).

- As litologias presentes nesse domínio sofrem processo de alteração heterogênea, o que condiciona a existência de blocos e/ou matacões em meio ao manto de alteração (Figura 4.65). Isso dificulta a execução de obras subterrâneas e pode gerar instabilização de edificações.

- Os solos da unidade geológico-ambiental 37, quando bem evoluídos, são profundos, argilossiltosos e de erodibilidade baixa. Apresentam boa capacidade de compactação, capacidade de suporte média a alta, boa estabilidade em taludes de corte e potencial para uso como material de empréstimo. Por outro lado, quando pouco evoluídos, apresentam potencial erosivo elevado (Figura 4.66). Tais solos compactam-se excessivamente, quando continuamente mecanizados por maquinário pesado, o que acarreta impermeabilização e aumento do processo de erosão hídrica.

- Litologias da unidade geológico-ambiental 37, quando sãs, apresentam resistência ao corte que varia entre moderada a alta. Não são facilmente removíveis, necessitando de uso de explosivo para desmonte de material (Figura 4.67).



**Figura 4.63** - Taludes de corte em maciços intensamente deformados, com alto potencial para ocorrência de deslocamento e quedas de blocos - município de Nova Era. (a) maciço em litotipo da unidade geológico-ambiental 37; (b) maciço em litotipo da unidade geológico-ambiental 38.

- As litologias da unidade geológico-ambiental 38 apresentam resistência moderada ao corte. São removíveis por maquinário, não necessitando de uso de explosivo para desmonte de maciço.

## Agricultura

No que se refere às potencialidades e limitações para o desenvolvimento agrícola, destacam-se:

- De modo geral, os solos gerados das unidades desse domínio apresentam variabilidade textural – arenosos a argilossiltosos. São pouco permeáveis, porosos e espessos.
- Apresentam boa capacidade para fixar nutrientes e matéria orgânica, assim como são de boa fertilidade natural e capacidade hídrica – retêm água para as plantas por um período relativamente longo em épocas de seca.
- Os solos presentes em locais de relevo de tabuleiros ou colinosos são mais adequados ao uso de maquinário agrícola.



a



b

**Figura 4.64** - Aspectos característicos da unidade geológico-ambiental 37: (a) acamamento planoparalelo (município de Tiradentes); (b) xistosidade (município de Piranga).



**Figura 4.65** - Ocorrência de bloco de rocha pouco alterado em meio ao manto de alteração (rocha muito alterada e solo) na unidade geológico-ambiental 37 (município de Piumhi).



a



b

**Figura 4.66** - Solos pouco evoluídos da unidade geológico-ambiental 37, com alto potencial erosivo. (a) avançado processo de erosão por ravinamento em talude de corte (município de Mariana); (b) processo erosivo de voçorocamento em encostas naturais (município de São João del-Rey).

- Os solos originados das litologias que constituem a unidade geológico-ambiental 37 apresentam aspectos positivos ao desenvolvimento de atividades agrícolas (Figura 4.68). São, em geral, profundos, de boa fertilidade natural, boa capacidade de reter e fixar nutrientes e matéria orgânica, porosidade elevada e permeabilidade baixa. Tais solos respondem bem ao processo de adubação e mantêm boa disponibilidade de água para as plantas.

- Solos originados das litologias que constituem a unidade geológico-ambiental 39 são ricos em alumínio, o que pode acarretar problemas de acidez.

#### Recursos hídricos e fontes poluidoras

- De maneira geral, predominam aquíferos do tipo fissural, os quais apresentam potencial hidrogeológico irregular. O

potencial de alimentação e armazenamento das águas sub-superficiais é condicionado pela configuração litoestrutural do maciço, que varia de local para local.

- A predominância de litologias que originam solos argilosos e argilossiltosos, de boa capacidade de reter, fixar e eliminar poluentes, condiciona baixo risco de contaminação das águas subterrâneas, em especial em áreas onde os solos são mais profundos.

- Nas unidades associadas às formações ferríferas, pode haver regiões com concentrações de ferro nas águas subterrâneas.

### Potencial mineral

- Ambiência geológica favorável à ocorrência de ouro, cobre, chumbo, zinco, cromo, ferro, manganês, barita, magnetita, talco, quartzitos e pedras preciosas.

- As litologias da unidade geológico-ambiental 38 estão

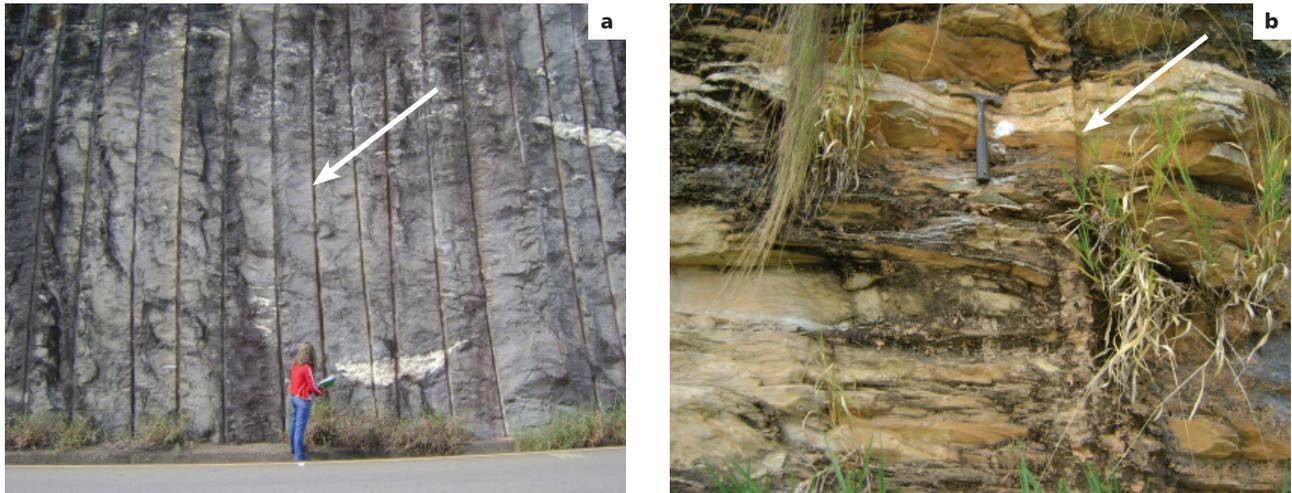
inseridas no contexto da região do Quadrilátero Ferrífero – área de grande potencial mineral.

- As litologias da unidade geológico-ambiental 37 apresentam grande potencial para exploração de níquel e platinoides.

### Potencial turístico

- O tectonismo atuante na área condicionou a ocorrência de belas cachoeiras e relevos montanhosos de grande beleza cênica (Figura 4.69), como na região de Santa Bárbara – serra do Caraça, onde está inserido o geossítio Pico Inficionado. Merece destaque, também, a serra do Rola Moça, na região de Belo Horizonte e Nova Lima, inserida no contexto da APA Sul.

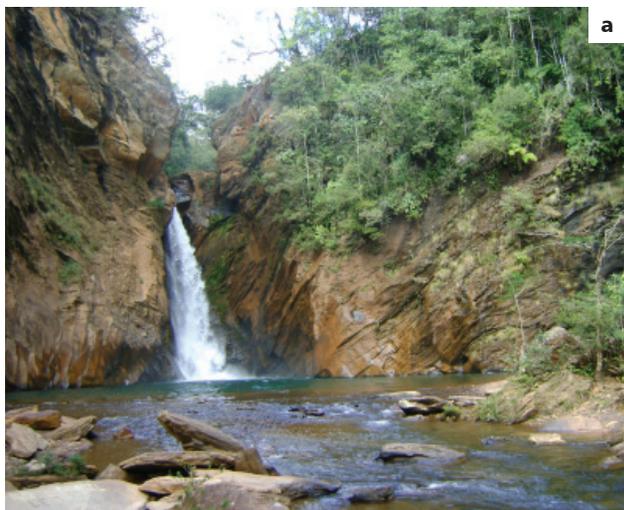
- Esse domínio apresenta potencial turístico mineral e histórico associado à unidade geológico-ambiental 38, inserida no contexto do Circuito Turístico do Ouro.



**Figura 4.67** - Litotipos da unidade geológico-ambiental 37, com elevada resistência ao corte. Notar presença de meias-canas no maciço, feição indicativa do uso de explosivos para desmonte. (a) município de Piranga; (b) município de Tiradentes.



**Figura 4.68** - Áreas com desenvolvimento de práticas agrícolas sobre solo da unidade geológico-ambiental 37. (a) plantio de hortaliças (município de Tiradentes); (b) plantio de café (município de São João del-Rey).

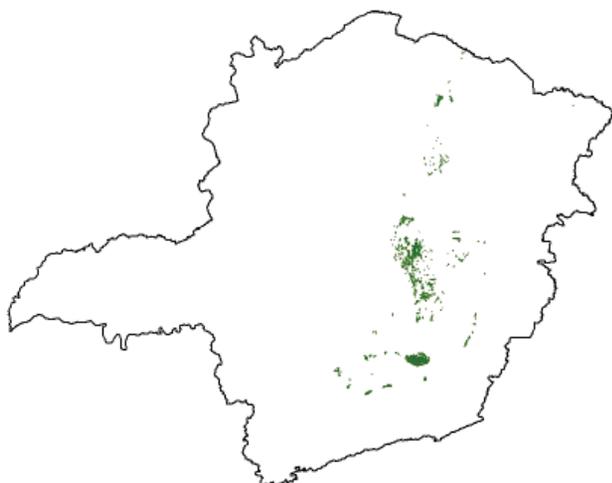


**Figura 4.69** - Atrativos turísticos do domínio das sequências vulcanossedimentares do tipo *greenstone belts*. (a) cachoeira Santo Antônio, unidade geológico-ambiental 37 (município de Morro do Pilar); (b) relevo de serras da unidade geológico-ambiental 38 (município de Santa Bárbara).

### DOMÍNIO DOS CORPOS MÁFICO-ULTRAMÁFICOS (SUÍTES KOMATIÍTICAS, SUÍTES TOLEÍTICAS, COMPLEXOS BANDADOS)

As unidades geológico-ambientais que compõem esse domínio são representadas por pequenos corpos, suítes e unidades geológicas com boa distribuição no estado (Figura 4.70), sendo constituídos por xistos, serpentinitos, anfíbolitos, gabros, monzodioritos, monzonitos, tonalitos, metabasaltos, metadioritos e metaultramáficas.

Essa geologia sustenta diferentes tipos de relevo (Quadro 4.15), sendo as superfícies aplainadas e os terrenos acidentados os mais representativos do domínio.



**Figura 4.70** - Área de ocorrência dos corpos máfico-ultramáficos (suítes komatiíticas, suítes toleíticas, complexos bandados) no estado de Minas Gerais.

**Quadro 4.15** - Unidades geológico-ambientais e compartimentos de relevos pertencentes ao domínio dos corpos máfico-ultramáficos (suítes komatiíticas, suítes toleíticas, complexos bandados).

Unidade Geológico-Ambiental	Compartimento de Relevo
(41) Série máfico-ultramáfica (dunito, peridotito etc.).	Superfície aplainada
	Terrenos acidentados
(42) Série básico-ultrabásica (gabro, anortosito etc.).	Colinoso
	Terrenos acidentados
(43) Vulcânicas básicas.	Terrenos acidentados

### Características, Adequabilidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação

#### Obras de engenharia

- Predomínio de rochas de alta resistência ao corte e à penetração e moderada a alta resistência à compressão.
- Solos residuais bem evoluídos, geralmente laterizados, o que os torna ácidos e corrosivos, passíveis de prejudicar obras em subsolo.
- Oferecem dificuldade à execução de obras durante o período chuvoso, pelo fato de essas unidades originarem solos argilosos muito aderentes e escorregadios quando molhados, causando emplastamento no maquinário.
- São rochas que se alteram de forma muito heterogênea, deixando blocos e matacões sobre a superfície e em meio ao solo, podendo ocorrer desprendimento de blocos em taludes de corte, assim como desestabilização em obras, se as fundações estiverem parcialmente apoiadas sobre eles (Figura 4.71).

- Alteram-se para solos argilosos, que, quando bem evoluídos, apresentam baixa suscetibilidade à erosão e boa estabilidade em talude de corte (Figura 4.72).
- O solo argiloso, com a pedogênese pouco avançada, fendilha-se e sofre o processo de empastilhamento, deixando os taludes de corte suscetíveis à erosão e colapsíveis se submetidos à alternância de estados úmido e seco.

### Agricultura

- Predomínio de solos argilosos ricos, principalmente em Fe, K, Ca e Mg. Quando evoluídos, possuem boa fertilidade natural, são pouco suscetíveis à erosão e respondem bem à adubação. São solos bastante favoráveis à agricultura em terrenos de relevo suave.
- Quando os solos são bem evoluídos, existe a possibilidade de formarem crosta lateríticas, tornando-se de má qualidade química para a agricultura.
- Podem se tornar solos suscetíveis à erosão se forem submetidos constantemente ao uso de maquinários pesados.

### Recursos hídricos e fontes poluidoras

- Rochas normalmente com fraturas abertas, por onde os poluentes podem alcançar muito rapidamente as águas subterrâneas.
- Aquíferos fissurais de potencialidade hidrogeológica muito irregular em um mesmo local e que dependem também das condições climáticas locais; podem conter grandes fraturas com potencial para armazenar água.
- O manto de alteração dessas rochas é pouco permeável; portanto, desfavorável à recarga de águas subterrâneas.
- Solos argilosos de alta plasticidade e alta capacidade de reter, fixar e eliminar poluentes; em solos profundos, é baixo o risco de contaminação das águas subterrâneas.

### Potencial mineral

- Ambiência geológica favorável à existência de mineralizações, como cromo, manganês, talco e rocha ornamental.
- Nesse domínio se encontra a pedra-sabão, variedade de esteatita, com multiplicidade de usos. Em Minas Gerais, é utilizada em esculturas (Figura 4.73) e ornamentos arquitetônicos, assim como na confecção de objetos usados no dia a dia, como jarros, painéis, fôrmas para pizza, porta-copo dentre outros (Figura 4.74).

### Potencial turístico

- Existem belas paisagens, associadas ao relevo acidentado (montanhoso) e a densos canais de drenagem.
- O artesanato em pedra-sabão associa-se ao turismo em cidades históricas como Ouro Preto e Mariana, por meio das grandes obras que utilizaram essa rocha como matéria-prima (Figura 4.75).



**Figura 4.71** - Processos que ocorrem devido ao alto grau de fraturamento e à deformação heterogênea da rocha. (a) desprendimento de blocos em talude de corte (unidade geológico-ambiental 42) (município de Catas Altas da Noruega); (b) blocos e matacões em meio ao solo (unidade geológico-ambiental 41) (município de Porteirinha).



**Figura 4.72** - Talude em corte de estrada. Mostra a boa estabilização em solo bem evoluído (unidade geológico-ambiental 42) (município de Catas Altas da Noruega).



**Figura 4.73** - Esculturas em pedra-sabão, grandes obras do artista barroco Aleijadinho (município de Congonhas).



**Figura 4.74** - Artesanato em pedra-sabão. Diversos tipos de objetos vendidos na feira de artesanato da cidade de Ouro Preto.



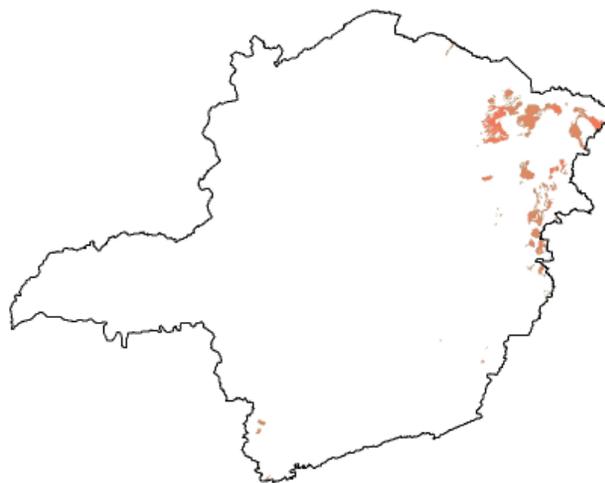
**Figura 4.75** - Igreja de São Francisco de Assis, ponto turístico de Ouro Preto. Exibe em seu interior esculturas e ornamentos em pedra-sabão.

## DOMÍNIO DOS COMPLEXOS GRANITOIDES NÃO-DEFORMADOS E COMPLEXOS GRANITOIDES DEFORMADOS

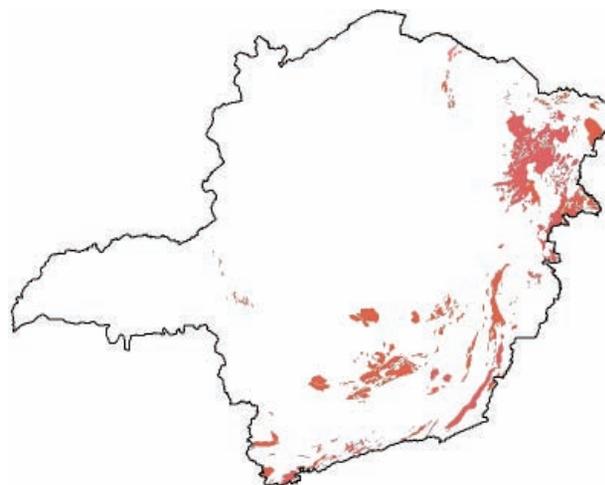
As características e particularidades dos domínios referentes aos granitoides não-deformados e deformados são apresentadas em um tópico unificado. Tal abordagem se justifica pelo fato de esses domínios exibirem comportamentos similares quanto às exigências frente aos tipos de uso e ocupação ressaltados neste trabalho.

As unidades geológico-ambientais que compõem os dois domínios são constituídas por litologias comuns a ambos (granitos, granitoides, monzonitos, sienitos, monzodiorito) e litologias presentes apenas nas unidades do domínio dos granitoides deformados (pegmatitos, tonalitos, metagranitos e paragnaisses).

Tais litologias foram originadas de magmas de composições diversificadas, cristalizados em diferentes ambientes tectônicos e ocorrem nas porções nordeste (Figura 4.76) e leste (Figura 4.77) do estado e sustentam diferentes tipos de relevo (Quadros 4.16 e 4.17).



**Figura 4.76** - Área de ocorrência dos complexos granitoides não-deformados no estado de Minas Gerais.



**Figura 4.77** - Área de ocorrência dos complexos granitoides deformados no estado de Minas Gerais.

**Quadro 4.16** - Unidades geológico-ambientais e compartimentos de relevos pertencentes ao domínio dos complexos granitoides não-deformados.

Unidade Geológico-Ambiental	Compartimento de Relevo
(44) Séries graníticas alcalinas.	Terrenos acidentados
(45) Séries graníticas subalcalinas: calcialcalinas (baixo, médio e alto-K) e toleíticas.	Terrenos planos elevados
	Superfície aplainada
	Relevo residual
	Colinoso
	Terrenos acidentados
(46) Granitoides peraluminosos.	Vertentes recobertas por depósitos de encosta
	Terrenos planos elevados
	Superfície aplainada
	Colinoso
	Terrenos acidentados

**Quadro 4.17** - Unidades geológico-ambientais e compartimentos de relevos pertencentes ao domínio dos complexos granitoides deformados.

Unidade Geológico-Ambiental	Compartimento de Relevo
(47) Séries graníticas alcalinas.	Colinoso
	Terrenos acidentados
(48) Séries graníticas subalcalinas: calcialcalinas (baixo, médio e alto-K) e toleíticas.	Terrenos planos elevados
	Superfícies aplainadas
	Relevo residual
	Colinoso
	Terrenos acidentados
(49) Granitoides peraluminosos.	Superfícies aplainadas
	<i>Inselbergs</i>
	Colinoso
(50) Indeterminado.	Terrenos acidentados

## Características, Adequabilidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação

### Obras de engenharia

- As litologias desses domínios constituem rochas duras de alto grau de coesão, de elevada resistência ao corte e à penetração. Tais litologias necessitam de explosivos para o seu desmonte (Figura 4.78).

- As rochas incluídas nas unidades geológico-ambientais 44 a 46 apresentam comportamento geomecânico isotrópico, devido à ausência ou incipiência de deformação – fraturas, juntas, falhas, dobras, bandamento composicional e lineações minerais (Figura 4.79).



**Figura 4.78** - Pedreira de granito desativada. Taludes em rocha sã, com elevada resistência ao corte; desmonte feito por explosivos (município de Ibiá).

- As rochas incluídas nas unidades geológico-ambientais 47 a 50 apresentam comportamento geomecânico anisotrópico, devido à presença de litotipos deformados. Localmente, as litologias dessas unidades exibem denso fraturamento, o que pode acarretar queda de blocos e deslocamentos em taludes de corte. Tal característica é notada tanto em maciços de rocha sã como em maciço de rochas muito alteradas. Nesses últimos, o potencial é mais acentuado (Figura 4.80).

- De modo geral, esses litotipos oferecem resistência moderada a alta à ação do intemperismo, o que pode levar a um processo de alteração heterogêneo e à existência de blocos de rocha conservados em meio ao manto de alteração (Figura 4.81). Tal característica dificulta a execução de escavações e perfurações, podendo acarretar instabilizações em taludes de corte e em fundações de edificações. Em locais onde os solos são bem evoluídos e profundos, a possibilidade de existência de blocos e matacões dispersos é maior.

- Os solos originados dessas rochas são argilo-siltico-arenosos. Quando pouco evoluídos, apresentam erodibilidade elevada e alto potencial a movimentos naturais de massa (Figura 4.82). Quando submetidos à concentração de águas pluviais, erodem bastante, não são adequados para uso como material de empréstimo em obras em que fiquem expostos.

- Os solos residuais com pedogênese avançada, todavia, apresentam boa capacidade de compactação, são pouco permeáveis, moderadamente plásticos e pouco erosivos. Podem ser utilizados como material de empréstimo em obras em que fiquem expostos.



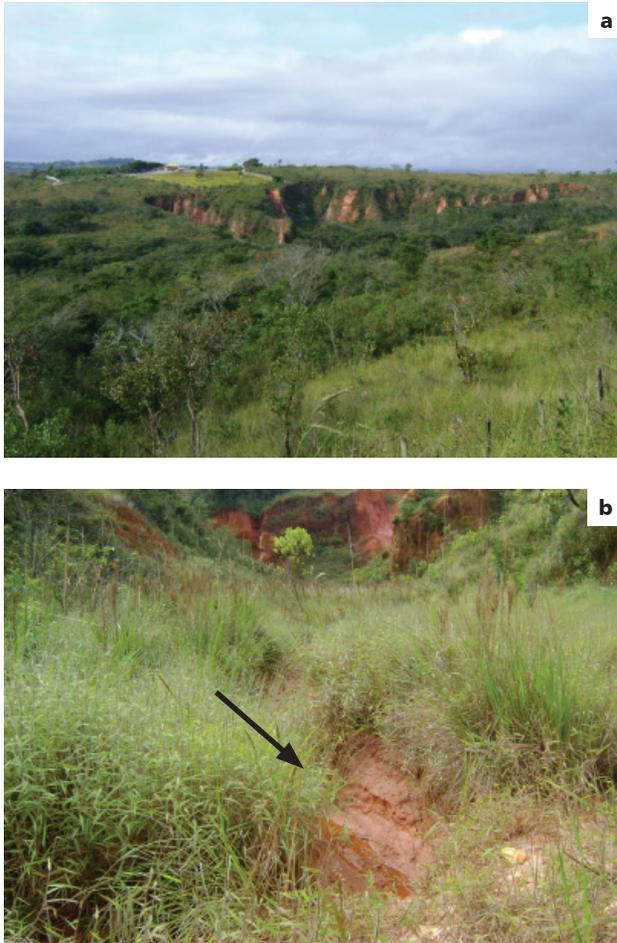
**Figura 4.79** - Granitoides não-deformados da unidade geológico-ambiental 46. (a) detalhe de maciço de comportamento geomecânico isotópico – pouco fraturado (município de Itinga); (b) detalhe de bandamento composicional incipiente (município de Jequitinhonha).



**Figura 4.80** - Litologias das unidades geológico-ambientais 47 e 48 com potenciais à queda de blocos. (a) maciço medianamente alterado e muito fraturado de litotipos da unidade geológico-ambiental 48 (município de Carlos Chagas); (b) manto de alteração de litotipos da unidade geológico-ambiental 47, com alto grau de fraturamento (município de Monte Azul).



**Figura 4.81** - (a), (b): litotipos da unidade geológico-ambiental 47, com presença de matacões de rocha leve a medianamente alterada imersos em manto de alteração bem evoluído (município de Monte Azul).



**Figura 4.82** - Processo de erosão por voçorocamento em manto de alteração pouco evoluído da unidade geológico-ambiental 48. (a) voçorocas instaladas em encosta natural; (b) detalhe de afloramento do lençol freático na base da voçoroca (município de Lagoa Dourada).

## Agricultura

- As rochas desses domínios alteram-se para solos argilo-siltico-arenosos, geralmente muito ácidos e com poucos nutrientes. As rochas das unidades geológico-ambientais 46 e 49 geram solos com uma quantidade razoável de alumínio.
- Os solos de pedogênese avançada, embora apresentem deficiências químicas, exibem bom potencial para o desenvolvimento de práticas agrícolas, devido às suas boas propriedades físicas – são muito porosos, apresentam boa capacidade hídrica e boa capacidade de reter e fixar nutrientes. Quando desenvolvidos em regiões de relevo favorável (superfícies aplainadas, terrenos elevados planos e regiões colinosas) e com atividades corretas de manejo, exibem alto potencial para o desenvolvimento agrícola.
- Quando submetidos a processo de manejo inadequado, como o uso contínuo de mecanização com equipamentos pesados, os solos desses domínios tornam-se mais suscetíveis à erosão hídrica laminar. O processo de mecanização provoca compactação e impermeabilização do solo, com

aumento do escoamento superficial e consequente aumento da erosão laminar.

- Solos originados das unidades geológico-ambientais 44, 45, 47 e 48 apresentam fertilidade natural um pouco melhor, devido ao conteúdo mineralógico ferromagnésiano.

## Recursos hídricos e fontes poluidoras

- As litologias constituintes dos dois domínios são de baixa permeabilidade primária, originam solos argilo-siltico-arenosos, pouco permeáveis e possuidores de boa capacidade de retenção de poluentes.
- As unidades geológico-ambientais 47, 48, 49 e 50 apresentam ambiência geológica favorável à existência de fraturamento profundo aberto, o que condiciona bom potencial armazenador de água subterrânea, porém muito irregular. Tal ambiência geológica também favorece a percolação de poluentes e aumenta o risco de contaminação dos recursos hídricos subterrâneos.
- Em locais onde os solos são evoluídos e profundos, há baixo risco de contaminação das águas subterrâneas. Por outro lado, onde as rochas apresentam fraturas abertas e solos residuais pouco evoluídos e/ou rasos, o risco de contaminação de água subterrânea é alto.
- Os solos desses domínios, quando espessos e de pedogênese pouco avançada, são bons aquíferos superficiais. Quando continuamente mecanizados por maquinário pesado, compactam-se excessivamente, o que acarreta impermeabilização, com redução do potencial de infiltração das águas das chuvas no subsolo.

## Potencial mineral

- As rochas desses domínios apresentam elevado potencial para utilização na construção civil. Exibem aplicações diversificadas para uso como brita, pedra de cantaria, alicerce e rochas ornamentais (Figura 4.83). Essa última bem caracterizada nas unidades geológico-ambientais 48 e 49.



**Figura 4.83** - Pedreira de extração artesanal de granitos, na unidade geológico-ambiental 45 (município de Pedra Azul).

Potencial turístico

- As unidades desses domínios apresentam resistência moderada à alteração físico-química, o que acarreta a formação de relevos dotados de grande beleza cênica (Figura 4.84) – terrenos acidentados com superfícies de serras e montanhosas do tipo “pão-de-açúcar”, como os vistos na serra dos Aimorés (unidade geológico-ambiental 48), divisa entre os estados de Minas Gerais e Espírito Santo.



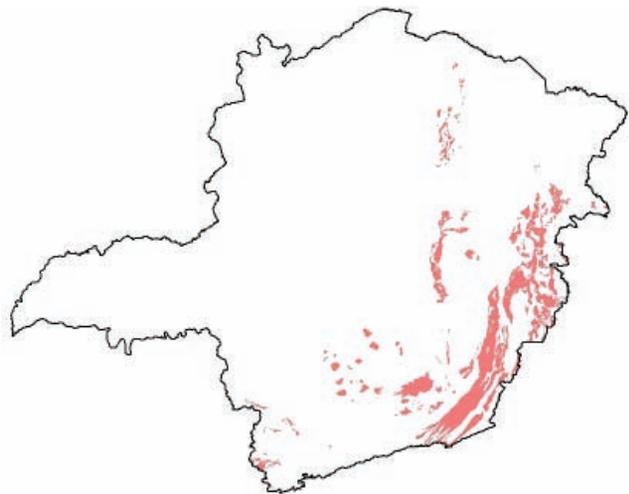
**Figura 4.84** - Relevos de grande beleza cênica, tipo “pão-de-açúcar”, característicos dos litotipos dos domínios granitoides: (a) não-deformados (município de Jequitinhonha); (b) deformados (município de Rubim).

**DOMÍNIO DOS COMPLEXOS GRANITOIDES INTENSAMENTE DEFORMADOS: ORTOGNAISSES**

Esse domínio abrange grande parte do território mineiro (Figura 4.85) e é constituído por anfibolitos, metagabros, anortositos, paragnaisses, charnokitos, enderbitos, sienitos, nortitos, monzogranitos, jutonitos, dioritos, tonalitos, para-

granulitos, kinzigitos, granitos, granodioritos, trondhjemitos, ortognaisses e migmatitos.

Do ponto de vista geomorfológico, a área possui predominância para terrenos acidentados (Quadro 4.18), os quais mostram o papel da geologia em seu desenvolvimento. Apresentam um quadro morfológico relacionado aos efeitos de um tectonismo regional e de sucessivas fases erosivas. A intensa ação tectônica reflete esses condicionamentos geológicos, em quase toda sua extensão, formando encostas íngremes, rios encaixados, contato solo-rocha abrupto e presença de matações espalhados por diversas encostas.



**Figura 4.85:** Área de ocorrência dos complexos granitoides intensamente deformados: ortognaisses no estado de Minas Gerais.

**Quadro 4.18** - Unidades geológico-ambientais e compartimentos de relevos pertencentes ao domínio dos complexos granitoides intensamente deformados: ortognaisses.

Unidade Geológico-Ambiental	Compartimento de Relevo
(51) Associações charnockíticas.	Superfície
	Colinoso
	Terrenos acidentados
(52) Séries graníticas subalcalinas: calcialcalinas (baixo, médio e alto-K) e toleíticas.	Superfície
	Colinoso
	Terrenos acidentados
(53) Granitoides peraluminosos.	Terrenos acidentados
(54) Série shoshonítica.	Colinoso
(55) Indeterminado.	Terrenos planos elevados
	Colinoso
	Terrenos acidentados

## Características, Adequabilidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação

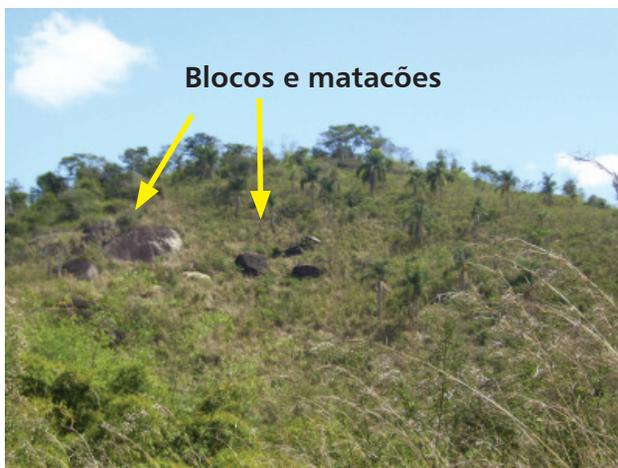
### Obras de engenharia

O padrão geológico, de intenso fraturamento, aliado à tipologia do relevo, de vertentes íngremes e declividades elevadas, confere à região grande incidência de eventos de deslizamentos de terra (Figura 4.86), principalmente em locais de maior ocupação, geralmente, áreas de encostas. Dentre este e outros problemas e adequabilidades desse domínio, são citados os seguintes:

- Rochas com descontinuidades geomecânica e hidráulica que facilitam o desprendimento de blocos em taludes de corte, principalmente quando intemperizadas.
- As rochas sãs apresentam alta resistência ao corte e à penetração, exigindo o uso de explosivo para desmonte de maciço.



**Figura 4.86** - Deslizamento de encosta em granitoide alterado da unidade geológico-ambiental 51, com utilização de maquinário para retirada de terra que interditou a pista (município de Matipó).



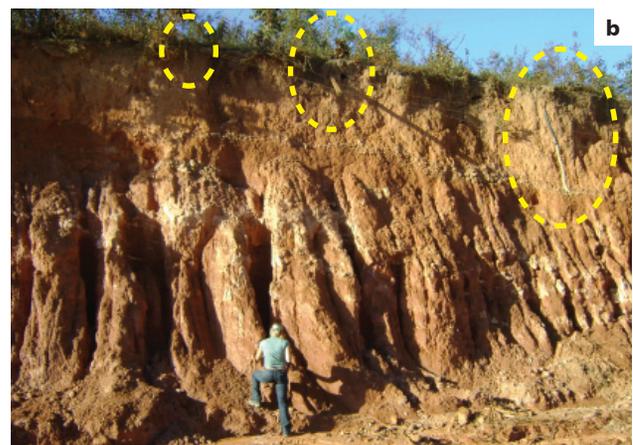
**Figura 4.87** - Erosão diferenciada em granitoide da unidade geológico-ambiental 51; as setas indicam blocos e matacões em meio ao solo sujeitos à movimentação (município de Carlos Chagas).

- Os granitoides desse domínio alteram-se de forma heterogênea, deixam blocos e matacões em meio ao solo, mesmo naqueles profundos e evoluídos, podendo causar desestabilização em edificações, cujas fundações estejam parcialmente apoiadas sobre tais blocos/matacões (Figura 4.87). Por possuírem lineação mineral e heterogeneidade textural, granitoides intensamente deformados se alteram com menos blocos que os granitoides não-deformados.

- Os solos dessas unidades, quando pouco evoluídos, são muito suscetíveis à erosão e a movimentos de massa, principalmente em relevo de alta declividade (Figura 4.88).

- São rochas de alto grau de coesão, elevada resistência à compressão, baixa porosidade primária e boa resistência ao intemperismo físico-químico.

- Os solos residuais, com pedogênese avançada, apresentam boa capacidade de compactação, são moderadamente plásticos e de moderada suscetibilidade à erosão, sendo bons para utilização como material de empréstimo.



**Figura 4.88** - Processo erosivo em talude de corte.

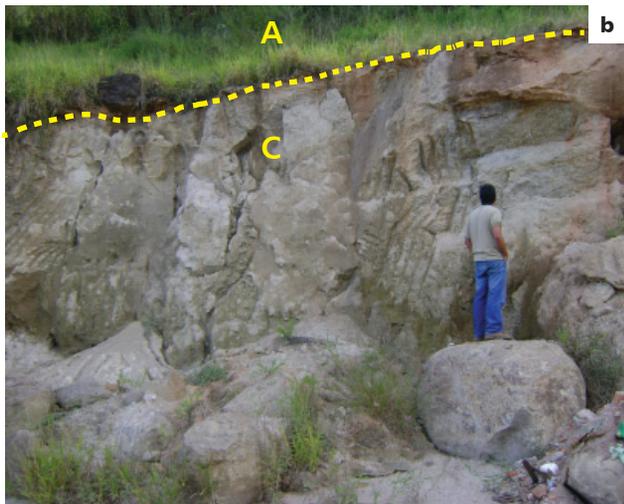
(a) muro de arrimo tipo gabião, como tentativa de conter o avanço da erosão em granitoide alterado da unidade geológico-ambiental 53 (município de Entre Folhas);

(b) erosão diferencial induzida pela concentração de água pluvial em granitoide alterado da unidade geológico-ambiental 52.

Em destaque na figura, observam-se postes de cerca em suspensão, devido ao grande avanço erosivo no talude (município de Conceição do Mato Dentro).

## Agricultura

- Os solos derivados dessas rochas são normalmente ácidos e pobres em nutrientes. Alteram-se para solos argilo-siltico-arenosos que, quando evoluídos, têm boa capacidade de reter e fixar nutrientes e assimilar a matéria orgânica; são muito porosos e apresentam capacidade de reter água por um bom tempo no período seco.
- Alteram-se para solos suscetíveis à erosão laminar se forem constantemente mecanizados por equipamentos pesados e pisoteados pelo gado.
- Boa parte dessas unidades encontra-se em relevo acidentado (montanhoso), desfavorável à evolução pedogenética e à agricultura mecanizada (Figura 4.89).



**Figura 4.89** - Relevo montanhoso bem característico desse domínio. (a) terreno inadequado para agricultura, principalmente para espécies de ciclo curto, devido à grande elevação e ao solo pouco evoluído, sendo mais utilizado para pecuária (município de Entre Folhas); (b) perfil de talude de corte em rocha granítica alterada; observa-se o horizonte A do solo pouco espesso sobre o horizonte C (município de Machado).

## Recursos hídricos e fontes poluidoras

- São rochas bastante fraturadas e com muitas fendas, por onde as águas circulam e se armazenam. Essas rochas formam aquíferos fissurais de bom potencial hidrogeológico, porém, o potencial de exploração é local e bastante irregular, pois depende da interconectividade das falhas e fraturas, como também das condições climáticas.
- O manto de alteração pouco evoluído tem boa permeabilidade primária e secundária, logo, onde o manto é mais espesso, pode se tornar um bom aquífero superficial.
- Essas rochas alteram para solos normalmente argilosos, que, quando bem evoluídos, são pouco permeáveis, desfavoráveis à recarga de aquíferos. Em relevo montanhoso, as águas pluviais escorrem muito rapidamente para os canais de drenagem.
- Onde essas rochas afloram ou possuem manto de alteração pouco evoluído, o potencial de contaminação dos aquíferos é alto. As rochas se apresentam, em geral, muito tectonizadas, com falhas e fraturas abertas que podem conduzir contaminantes com facilidade às águas subterrâneas (Figura 4.90).
- Os solos profundos bem evoluídos têm boa capacidade de reter, fixar e eliminar poluentes, pois se alteram em sua maioria para solos argilo-siltico-arenosos, que são pouco permeáveis, representando risco baixo para contaminação de aquíferos.



**Figura 4.90** - Talude de corte de estrada em granito com muitas fraturas e fendas, o que o torna bastante percolativo, favorecendo rápida infiltração tanto de água pluvial quanto de contaminantes (município de Abre Campo).

## Potencial mineral

- O potencial metalogenético dessas rochas é prejudicado pelo metamorfismo, que mais dispersou que concentrou elementos metálicos, como também pelo alto grau de erosão dos maciços rochosos. Entretanto, esses granitos têm potencial para brita e rocha ornamental, utilizados na construção civil; alumínio, de grande utilização na indústria de metal; caulim, utilizado como mineral industrial.

## Potencial turístico

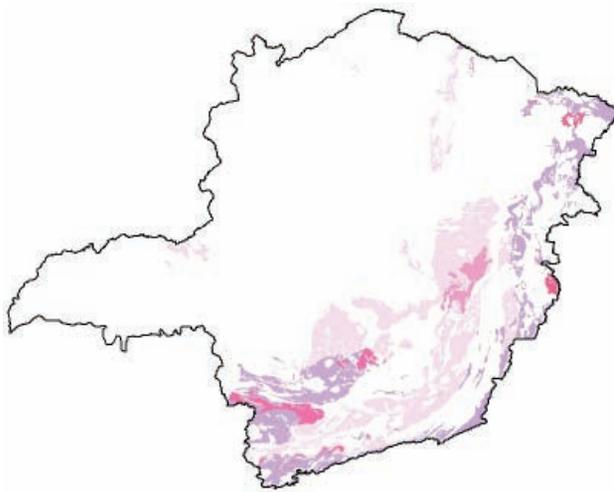
- O predomínio de relevo de morros e montanhas, com alta densidade de canais de drenagem, origina belíssimas paisagens.

## DOMÍNIO DOS COMPLEXOS GRANITO-GNAISSE MIGMATÍTICO E GRANULITOS

Com abrangência significativa no estado, nas porções centro-sudeste e nordeste (Figura 4.91), esse domínio é constituído por diferentes litotipos: anatexitos, anfíbolitos, ortognaisses, migmatitos, gnaisses, metagranodioritos, metatonalitos, charnockitos, kinzigitos, mármore, xistos, quartzitos, metacalcários, metadolomitos, enderbitos, granulitos, diatexitos, quartzitos, granitos, granitoides, tonalitos, trondhjemitos, ortognaisses, paragnaisses, rochas básicas, ultrabásicas, ultramáficas e calcissilicáticas.

Essas litologias sustentam diferentes tipos de relevo, destacando-se terrenos acidentados (Quadro 4.19).

Os litotipos constituintes desse domínio foram originados a partir da ação de diferentes episódios tectônicos sob variadas rochas preexistentes, as quais sofreram processo de fusão total ou parcial.



**Figura 4.91** - Área de ocorrência dos complexos granito-gnaiss migmatítico e granulitos no estado de Minas Gerais.

## Características, Adequabilidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação

### Obras de engenharia

- As rochas constituintes desse domínio são dotadas de heterogeneidade geomecânica e hidráulica, tanto lateral como vertical, devido às descontinuidades estruturais presentes – fraturas, falhas, dobras e bandamentos – e à diversificação mineralógica e textural intrínseca (Figura 4.92).

**Quadro 4.19** - Unidades geológico-ambientais e compartimentos de relevos pertencentes ao domínio dos complexos granito-gnaiss migmatítico e granulitos.

Unidade Geológico-Ambiental	Compartimento de Relevo
(56) Predomínio de migmatitos ortoderivados.	Terrenos planos elevados
	Superfícies aplainadas
	Relevo residual
	Colinoso
(57) Predomínio de migmatitos paraderivados.	Terrenos acidentados
	Terrenos acidentados
(58) Predomínio de gnaisses paraderivados (podem conter porções migmatíticas).	Terrenos planos elevados
	Superfícies aplainadas
	Relevo residual
	Colinoso
(59) Migmatitos indiferenciados.	Terrenos acidentados
	Terrenos acidentados
(60) Gnaiss-granulito paraderivado (podem conter porções migmatíticas).	Superfícies aplainadas
	Colinoso
	Terrenos acidentados
(61) Granulitos indiferenciados.	Colinoso
	Terrenos acidentados
(62) Predomínio de gnaiss ortoderivado (podem conter porções migmatíticas).	Terrenos planos elevados
	Superfícies aplainadas
	Colinoso
	Terrenos acidentados

- A heterogeneidade geomecânica dessas unidades é refletida na resistência ao intemperismo, a qual é variável também. Tal processo resulta na existência de blocos e/ou matacões imersos no solo, o que dificulta a execução de obras subterrâneas e pode gerar instabilização em edificações.

- Quando sãs, as rochas apresentam elevada resistência ao corte e à penetração, o que implica a necessidade de uso de explosivos para execução de desmonte de maciço.

- O processo de deformação atuante nessas rochas gerou muitas descontinuidades estruturais, com direções e ângulos de mergulho variados, o que pode acarretar quedas de blocos e instabilizações em taludes de corte, em especial quando o maciço se encontra alterado (Figura 4.93).

- As unidades desse domínio apresentam descontinuidades geomecânicas que facilitam a ocorrência de surgência de água e o deslocamento de lascas em taludes de corte. A surgência de água ao longo das descontinuidades facilita o processo intempérico e condiciona a ocorrência de movimentos de massa e quedas de blocos (Figura 4.94).

- Solos evoluídos originados dessas unidades apresentam boa capacidade de compactação, permeabilidade baixa a moderada, erodibilidade baixa e plasticidade moderada. Apresentam bom potencial para utilização como material de empréstimo.



**Figura 4.92** - Heterogeneidade geomecânica devido à deformação estrutural característica desse domínio. (a) talude em maciço da unidade geológico-ambiental 56 (município de Poços de Caldas); (b) talude em maciço da unidade geológico-ambiental 62 (município de Porteirinha).



**Figura 4.93** - Taludes de corte em maciços alterados e muito fraturados, com ocorrências de queda de blocos, na unidade geológico-ambiental 62. (a) município de Rio Casca; (b) município de Virginópolis.



**Figura 4.94** - Surgência de água ao longo de discontinuidades geomecânicas em maciços da unidade geológico-ambiental 62 no município de Ponte Nova. (a) talude de corte com surgência de água ao longo de bandamento migmatítico; (b) área úmida com surgência de água ao longo do plano de fratura – formação de zona de alteração intempérica (área pontilhada).

- Solos pouco evoluídos apresentam erodibilidade e suscetibilidade a movimentos de massa naturais muito altas (Figuras 4.95 e 4.96). Desestabilizam-se com facilidade em taludes de corte, não sendo recomendável utilizá-los como material de empréstimo. Quando continuamente mecanizados por maquinário pesado, compactam-se excessivamente, o que acarreta impermeabilização e aumento do processo de erosão hídrica. Nas unidades geológico-ambientais 56, 59, 60 e 62, tais processos ocorrem com maior frequência.

### Agricultura

- Os solos dessas unidades, independentemente da evolução pedogenética, apresentam boa capacidade de reter e fixar nutrientes e assimilar matéria orgânica; são muito porosos e de boa capacidade hídrica. Não necessitam de irrigação frequente e apresentam boa fertilidade natural. Predomínio de solos ricos em cálcio e magnésio.

- Os solos gerados, quando pouco evoluídos e continuamente mecanizados por maquinário agrícola pesado e/ou pelo pastoreio intensivo, compactam-se e impermeabilizam-se, tornando-se erosivos. Torna-se necessário, então, um manejo adequado para o bom desenvolvimento das atividades agrícolas.

- Os solos com pedogênese bem desenvolvida apresentam erodibilidade e permeabilidade baixas a moderadas, o que caracteriza bom potencial para uso agrícola.

### Recursos hídricos e fontes poluidoras

- Ambiência geológica favorável à existência de estruturas que funcionam como importantes armadilhas hidrogeológicas. Predominam rochas muito tectonizadas e

portadoras de muitas falhas e fraturas, que condicionam a existência de aquíferos do tipo fissural. O potencial de exploração desses aquíferos varia de local para local.

- O manto de alteração (saprólito) gerado apresenta boas características hidrodinâmicas; quando espessos, podem constituir excelentes aquíferos superficiais.

- Em locais onde predominam solos argilosos, a recarga de água subterrânea é variável, sendo, no geral, pouco favorecida, devido à permeabilidade variável desses solos – baixa e moderada.

- Os solos de pedogênese evoluída apresentam baixo risco de contaminação das águas subterrâneas, devido à sua baixa permeabilidade e alta capacidade de reter, fixar e eliminar poluentes.

- Há risco de contaminação das águas subterrâneas quando ocorrem rochas muito tectonizadas com falhas e fraturas aflorantes. Solos rasos e/ou pouco evoluídos também potencializam o risco de contaminação.

### Potencial mineral

- Esse domínio apresenta ambiência geológica favorável à existência de pegmatitos, litotipos com bom potencial para uso como rocha ornamental.

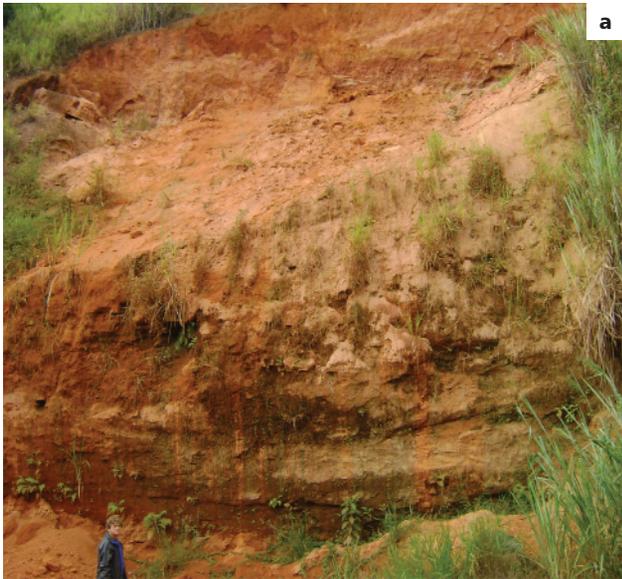
- As rochas constituintes desse domínio apresentam potencial para utilização, também, na construção civil, como brita e pedra de cantaria (Figura 4.97).

### Potencial turístico

- O tectonismo atuante nas rochas desse domínio favorece a ocorrência de terrenos montanhosos de grande beleza cênica, como os existentes nas unidades geológico-ambientais 56 e 62, porção sul do estado (Figura 4.98).



**Figura 4.95** - Solos pouco evoluídos da unidade geológico-ambiental 62, com elevado potencial de erosão. (a) processo erosivo por ravinamento (município de Ponte Nova); (b) processo erosivo por voçorocamento (município de Monte Carmelo). A seta indica a base da feição.



**Figura 4.96** - Solos pouco evoluídos, com elevado potencial de ocorrência de movimentos de massa.  
(a) escorregamento planar (unidade geológico-ambiental 62; município de Ponte Nova);  
(b) escorregamento planar (unidade geológico-ambiental 59; município de Açucena).  
A linha pontilhada destaca o volume de material que sofreu movimentação.



**Figura 4.97** - Pedreira de litotipos da unidade geológico-ambiental 62; as setas destacam material usado na construção civil: brita e pedrisco (município de Urucânia).



**Figura 4.98** - Relevo de terrenos acidentados (montanhoso) de grande beleza cênica; unidade geológico-ambiental 62 (município de Cruzília).

# **APÊNDICE I**

## **UNIDADES GEOLÓGICO-AMBIENTAIS DO TERRITÓRIO BRASILEIRO**



DESCRIÇÃO DO DOMÍNIO GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. DOMÍNIO UNIGEO	CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. UNIGEO
DOMÍNIO DOS SEDIMENTOS CENOZOICOS INCONSOLIDADOS OU POUCO CONSOLIDADOS, DEPOSITADOS EM MEIO AQUOSO.	DC	Ambiente de planícies aluvionares recentes – Material inconsolidado e de espessura variável. Da base para o topo, é formado por cascalho, areia e argila.	DCa
		Ambiente de terraços aluvionares – Material inconsolidado a semiconsolidado, de espessura variável. Da base para o topo, é formado por cascalho, areia e argila.	DCta
		Ambiente fluviolacustre – Predomínio de sedimentos arenosos, intercalados com camadas argilosas, ocasionalmente com presença de turfa. Ex.: Fm. Içá.	DCfl
		Ambiente lagunar – Predomínio de sedimentos argilosos.	DCI
		Ambiente paludal – Predomínio de argilas orgânicas e camadas de turfa.	DCp
		Ambiente marinho costeiro – Predomínio de sedimentos arenosos.	DCmc
		Ambiente misto (Marinho/Continental) – Intercalações irregulares de sedimentos arenosos, argilosos, em geral ricos em matéria orgânica (mangues).	DCm
DOMÍNIO DOS SEDIMENTOS CENOZOICOS INCONSOLIDADOS DO TIPO COLUVIÃO E TÁLUS.	DCICT	Colúvio e tálus – Materiais inconsolidados, de granulometria e composição diversa proveniente do transporte gravitacional.	DCICT
DOMÍNIO DOS SEDIMENTOS INDIFERENCIADOS CENOZOICOS RELACIONADOS A RETRABALHAMENTO DE OUTRAS ROCHAS, GERALMENTE ASSOCIADOS A SUPERFÍCIES DE APLAINAMENTO.  Obs.: Engloba as coberturas que existem na zona continental e representam uma fase de retrabalhamento de outras rochas que sofreram pequeno transporte em meio não aquoso ou pouco aquoso.	DCSR	Relacionado a sedimentos retrabalhados de outras rochas – Coberturas arenoconglomeráticas e/ou siltico-argilosas associadas a superfícies de aplainamento.	DCSR
DOMÍNIO DOS SEDIMENTOS CENOZOICOS PROVENIENTES DA ALTERAÇÃO DE ROCHA <i>IN SITU</i> COM GRAU DE ALTERAÇÃO VARIANDO DE SAPRÓLITO A SOLO RESIDUAL, EXCETO AS LATERITAS.	DCEL	Sedimentos eluviais.	DCEL
DOMÍNIO DOS SEDIMENTOS CENOZOICOS BIOCLÁSTICOS.	DCB	Plataforma continental – recifes.	DCBr
DOMÍNIO DOS SEDIMENTOS CENOZOICOS EÓLICOS.	DCE	Dunas móveis – Material arenoso inconsolidado.	DCEm

DESCRIÇÃO DO DOMÍNIO GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. DOMÍNIO UNIGEO	CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. UNIGEO
DOMÍNIO DOS SEDIMENTOS CENOZOICOS EÓLICOS.	DCE	Dunas fixas – Material arenoso fixado pela vegetação.	DCEf
DOMÍNIO DOS SEDIMENTOS CENOZOICOS SEMICONSOLIDADOS FLUVIAIS.	DCF	Depósitos fluviais antigos – Intercalações de níveis arenosos, argilosos, siltsos e cascalhos semiconsolidados. Ex.: Formação Pariquera-Açu.	DCFa
DOMÍNIO DAS COBERTURAS CENOZOICAS DETRITO-LATERÍTICAS.	DCDL	Depósitos detrito-lateríticos – Provenientes de processos de lateritização em rochas de composições diversas sem a presença de crosta.	DCDL
		Horizonte laterítico <i>in situ</i> – Proveniente de processos de lateritização em rochas de composições diversas formando crosta. Ex.: Crostas ferruginosas.	DCDLi
DOMÍNIO DAS COBERTURAS CENOZOICAS DETRITO-CARBONÁTICAS.	DCDC	Depósitos detrito-carbonáticos – Provenientes de processos de lateritização em rochas carbonáticas. Ex.: Formação Caatinga.	DCDC
DOMÍNIO DOS SEDIMENTOS CENOZOICOS E MESOZOICOS POUCO A MODERADAMENTE CONSOLIDADOS, ASSOCIADOS A PEQUENAS BACIAS CONTINENTAIS DO TIPO <i>RIFT</i> .	DCMR	Predomínio de sedimentos arenosos. Ex.: Sedimentos associados a pequenas bacias continentais do tipo <i>rift</i> , como as bacias de Curitiba, São Paulo, Taubaté, Resende, dentre outras.	DCMRa
		Predomínio dos sedimentos siltico-argilosos.	DCMRsa
		Calcários com intercalações siltico-argilas. Ex.: Formação Tremembé.	DCMRcsa
DOMÍNIO DOS SEDIMENTOS CENOZOICOS POUCO A MODERADAMENTE CONSOLIDADOS, ASSOCIADOS A TABULEIROS.	DCT	Alternância irregular entre camadas de sedimentos de composição diversa (arenito, siltito, argilito e cascalho). Ex.: Formação Barreiras.	DCT
DOMÍNIO DOS SEDIMENTOS CENOZOICOS E MESOZOICOS POUCO A MODERADAMENTE CONSOLIDADOS, ASSOCIADOS A PROFUNDAS E EXTENSAS BACIAS CONTINENTAIS.	DCM	Predomínio de sedimentos arenoargilosos e/ou siltico-argilosos de deposição continental lacustrina deltaica, ocasionalmente com presença de linhito. Ex.: Formação Solimões.	DCMIId
		Predomínio de sedimentos arenosos de deposição continental, lacustre, fluvial ou eólica – arenitos. Ex.: Formação Urucuia.	DCMa
DOMÍNIO DAS SEQUÊNCIAS SEDIMENTARES MESOZOICAS CLASTOCARBONÁTICAS CONSOLIDADAS EM BACIAS DE MARGENS CONTINENTAIS ( <i>RIFT</i> ).	DSM	Predomínio de calcário e sedimentos siltico-argilosos.	DSMc
		Predomínio de sedimentos quartzoarenosos e conglomeráticos, com intercalações de sedimentos siltico-argilosos e/ou calcíferos.	DSMqcg
		Predomínio de sedimentos siltico-argilosos, com alternância de sedimentos arenosos e conglomeráticos.	DSMsa

DESCRIÇÃO DO DOMÍNIO GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. DOMÍNIO UNIGEO	CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. UNIGEO
DOMÍNIO DAS SEQUÊNCIAS SEDIMENTARES MESOZOICAS CLASTOCARBONÁTICAS CONSOLIDADAS EM BACIAS DE MARGENS CONTINENTAIS ( <i>RIFT</i> ).	DSM	Intercalações de sedimentos siltico-argilosos e quartzarenosos.	DSMs <sub>saq</sub>
		Intercalação de sedimentos siltico-argilosos e camadas de carvão.	DSMs <sub>scv</sub>
DOMÍNIO DAS COBERTURAS SEDIMENTARES E VULCANOSSEDIMENTARES MESOZOICAS E PALEOZOICAS, POUCO A MODERADAMENTE CONSOLIDADAS, ASSOCIADAS A GRANDES E PROFUNDAS BACIAS SEDIMENTARES DO TIPO SINÉCLISE (AMBIENTES DEPOSICIONAIS: CONTINENTAL, MARINHO, DESÉRTICO, GLACIAL E VULCÂNICO).	DSVMP	Predomínio de sedimentos arenosos malselecionados.	DSVMP <sub>pa</sub>
		Predomínio de espessos pacotes de arenitos de deposição eólica. Ex.: Arenito Botucatu.	DSVMP <sub>pae</sub>
		Predomínio de espessos pacotes de arenitos de deposição mista (eólica e fluvial). Ex.: Fm. Rio do Peixe, Fm. Caiuá.	DSVMP <sub>paef</sub>
		Predomínio de arenitos e conglomerados.	DSVMP <sub>pacg</sub>
		Predomínio de arenitos a arenitos caulíníficos. Ex.: Fm. Alter do Chão.	DSVMP <sub>pac</sub>
		Intercalações de sedimentos arenosos, siltico-argilosos e folhelhos.	DSVMP <sub>pasaf</sub>
		Predomínio de sedimentos siltico-argilosos com intercalações arenosas.	DSVMP <sub>saa</sub>
		Predomínio de arenitos vulcanoclásticos (tufos cineríticos).	DSVMP <sub>pav</sub>
		Predomínio de sedimentos siltico-argilosos e arenosos, contendo camadas de carvão.	DSVMP <sub>saacv</sub>
		Intercalações de paraconglomerados (tilitos) e folhelhos.	DSVMP <sub>pcgf</sub>
		Predomínio de sedimentos siltico-argilosos e calcários com intercalações arenosas subordinadas.	DSVMP <sub>saca</sub>
		Intercalações irregulares de sedimentos arenosos, siltico-argilosos e calcários.	DSVMP <sub>pasac</sub>

DESCRIÇÃO DO DOMÍNIO GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. DOMÍNIO UNIGEO	CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. UNIGEO
DOMÍNIO DAS COBERTURAS SEDIMENTARES E VULCANOSSEDIMENTARES MESOZOICAS E PALEOZOICAS, POUCO A MODERADAMENTE CONSOLIDADAS, ASSOCIADAS A GRANDES E PROFUNDAS BACIAS SEDIMENTARES DO TIPO SINÉCLISE (AMBIENTES DEPOSICIONAIS: CONTINENTAL, MARINHO, DESÉRTICO, GLACIAL E VULCÂNICO).	DSVMP	Intercalações irregulares de sedimentos arenosos e síltico-argilosos com finas camadas de evaporitos e calcários.	DSVMPasaec
		Predomínio de rochas calcárias intercaladas com finas camadas síltico-argilosas.	DSVMPcsa
		Arenitos, conglomerados, tilitos e folhelhos. Ex.: Grupo Curuá.	DSVMPactf
		Arenitos, conglomerados, siltitos, folhelhos e calcário. Ex.: Grupo Alto Tapajós.	DSVMPacsfc
		Predomínio de sedimentos síltico-argilosos intercalados de folhelhos betuminosos e calcários. Ex.: Formação Irati.	DSVMPsabc
		Predomínio de arenitos e intercalações de pelitos. Ex.: Formação Utiariti.	DSVMPap
DOMÍNIO DO VULCANISMO FISSURAL MESOZOICO DO TIPO PLATÔ.  Ex.: Basaltos da Bacia do Paraná e do Maranhão e Diques Básicos; Basalto Penetecaua, Kumdku.	DVM	Predomínio de intrusivas na forma de gabros e diabásio.	DVMgd
		Predomínio de basaltos.	DVMb
		Predomínio de basalto com <i>intertraps</i> subordinadas de arenito.	DVMba
		Predomínio de riolitos e riodacitos.	DVMrrd
DOMÍNIO DOS COMPLEXOS ALCALINOS INTRUSIVOS E EXTRUSIVOS, DIFERENCIADOS DO TERCIÁRIO, MESOZOICO E PROTEROZOICO.  Ex.: Alcalinas do Lineamento de Cabo Frio, Lajes.	DCA	Indeterminado.	DCAin
		Tufo, brecha e demais materiais piroclásticos.	DCAtbr
		Série subalcalina (monzonitos, quartzomonzonitos, mangeritos etc.).	DCAsbalc
		Série alcalina saturada e alcalina subsaturada (sienito, quartzossienitos, traquitos, nefelina sienito, sodalita sienito etc.).	DCAalc

DESCRIÇÃO DO DOMÍNIO GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. DOMÍNIO UNIGEO	CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. UNIGEO
DOMÍNIO DOS COMPLEXOS ALCALINOS INTRUSIVOS E EXTRUSIVOS, DIFERENCIADOS DO TERCIÁRIO, MESOZOICO E PROTEROZOICO.  Ex.: Alcalinas do Lineamento de Cabo Frio, Lajes.	<b>DCA</b>	Gabro, anortosito, carbonatito, dique de lamprófito.	<b>DCAganc</b>
DOMÍNIO DAS SEQUÊNCIAS SEDIMENTARES E VULCANOSSEDIMENTARES DO EOPALEOZOICO, ASSOCIADAS A <i>RIFTS</i> , NÃO OU POUCO DEFORMADAS E METAMORFIZADAS.  Ex.: Grupo Camaquã, Fm. Campo Alegre	<b>DSVE</b>	Predomínio de rochas sedimentares.	<b>DSVEs</b>
		Sequência vulcanossedimentar.	<b>DSVEvs</b>
		Predomínio de vulcânicas.	<b>DSVEv</b>
DOMÍNIO DAS COBERTURAS SEDIMENTARES PROTEROZOICAS, NÃO OU MUITO POUCO DOBRADAS E METAMORFIZADAS. CARACTERIZADAS POR UM EMPILHAMENTO DE CAMADAS HORIZONTALIZADAS E SUB-HORIZONTALIZADAS DE VÁRIAS ESPESSURAS, DE SEDIMENTOS CLASTOQUÍMICOS DE VÁRIAS COMPOSIÇÕES E ASSOCIADOS AOS MAIS DIFERENTES AMBIENTES TECTONODEPOSICIONAIS.  Ex.: Fms. Palmeiral, Aguapeí, Dardanelos, Prosperança, Ricardo Franco, Roraima, Beneficente, Jacadigo e Cuiabá.	<b>DSP1</b>	Predomínio de sedimentos arenosos e conglomeráticos, com intercalações subordinadas de sedimentos siltico-argilosos.	<b>DSP1acgsa</b>
		Intercalações irregulares de sedimentos arenosos, siltico-argilosos e formações ferríferas e manganêsíferas.	<b>DSP1asafmg</b>
		Predomínio de sedimentos siltico-argilosos, com intercalações subordinadas de arenitos e metarenito feldspático.	<b>DSP1saagr</b>
		Rochas calcárias com intercalações subordinadas de sedimentos siltico-argilosos e arenosos.	<b>DSP1csaa</b>
		Diamictitos, metarenitos feldspáticos, sedimentos arenosos e siltico-argilosos.	<b>DSP1dgrsa</b>
		Predomínio de sedimentos siltico-argilosos com intercalações subordinadas de rochas calcárias.	<b>DSP1sac</b>
DOMÍNIO DAS SEQUÊNCIAS VULCANOSSEDIMENTARES PROTEROZOICAS, NÃO OU POUCO DOBRADAS E METAMORFIZADAS.  Ex.: Fms. Uatumã, Uailã e Iri.	<b>DSVP1</b>	Predomínio de vulcanismo ácido a intermediário.	<b>DSVP1va</b>
		Predomínio de vulcanismo básico.	<b>DSVP1vb</b>
		Sequência vulcanossedimentar.	<b>DSVP1vs</b>
		Vulcanismo ácido a intermediário e intercalações de metassedimentos arenosos e siltico-argilosos e formações ferríferas e/ou manganêsíferas.	<b>DSVP1vaa</b>

DESCRIÇÃO DO DOMÍNIO GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. DOMÍNIO UNIGEO	CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. UNIGEO
DOMÍNIO DAS SEQUÊNCIAS SEDIMENTARES PROTEROZOICAS DOBRADAS, METAMORFIZADAS EM BAIXO A MÉDIO GRAU.	DSP2	Metarenitos, quartzitos e metaconglomerados.	DSP2mqmtc
		Predomínio de metarenitos e quartzitos, com intercalações irregulares de metassedimentos siltico-argilosos e formações ferríferas ou manganésíferas.	DSP2mqsafmg
		Intercalações irregulares de metassedimentos arenosos e siltico-argilosos.	DSP2msa
		Predomínio de metassedimentos siltico-argilosos, com intercalações de metarenitos feldspáticos.	DSP2sag
		Intercalações irregulares de metassedimentos arenosos, metacalcários, calcossilicáticas e xistos calcíferos.	DSP2mcx
		Predomínio de metacalcários, com intercalações subordinadas de metassedimentos siltico-argilosos e arenosos.	DSP2mcsaa
		Predomínio de sedimentos siltico-argilosos com intercalações subordinadas de arenitos.	DSP2saa
DOMÍNIO DAS SEQUÊNCIAS VULCANOSSEDIMENTARES PROTEROZOICAS DOBRADAS METAMORFIZADAS DE BAIXO A ALTO GRAU.	DSVP2	Indiferenciado.	DSVP2in
		Predomínio de quartzitos.	DSVP2q
		Predomínio de metassedimentos siltico-argilosos, representados por xistos.	DSVP2x
		Predomínio de rochas metacalcárias, com intercalações de finas camadas de metassedimentos siltico-argilosos.	DSVP2csa
		Metacherts, metavulcânicas, formações ferríferas e/ou formações manganésíferas, metacalcários, metassedimentos arenosos e siltico-argilosos.	DSVP2vfc
		Metarenitos feldspáticos, metarenitos, tufos e metavulcânicas básicas a intermediárias.	DSVP2gratv
		Predomínio de rochas metabásicas e metaultramáficas.	DSVP2bu

DESCRIÇÃO DO DOMÍNIO GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. DOMÍNIO UNIGEO	CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. UNIGEO
DOMÍNIO DAS SEQUÊNCIAS VULCANOSSEDIMENTARES PROTEROZOICAS DOBRADAS METAMORFIZADAS DE BAIXO A ALTO GRAU.	DSVP2	Metacherts, metarenitos, metapelitos, vulcânicas básicas, formações ferríferas e formações manganêsíferas.	DSVP2af
		Metarenitos, metachert, metavulcânicas ácidas a intermediárias, formações ferríferas e/ou manganêsíferas.	DSVP2avf
		Predomínio de vulcânicas ácidas.	DSVP2va
DOMÍNIO DAS SEQUÊNCIAS VULCANOSSEDIMENTARES TIPO <i>GREENSTONE BELT</i> , ARQUEANO ATÉ O MESOPROTEROZOICO.  Ex.: Crixás, Araci, Rio das Velhas, Natividade e Rio Maria.	DGB	Sequência vulcânica komatiítica associada a talco-xistos, anfíbolitos, <i>cherts</i> , formações ferríferas e metalultrabásitos.	DGBko
		Predomínio de sequência sedimentar.	DGBss
		Sequência vulcanossedimentar, com alta participação de metavulcânicas ácidas e intermediárias.	DGBvai
		Sequência vulcanossedimentar.	DGBvs
DOMÍNIO DOS CORPOS MÁFICO-ULTRAMÁFICOS (SUÍTES KOMATIÍTICAS, SUÍTES TOLEÍTICAS, COMPLEXOS BANDADOS).  Ex.: Cana Brava, Barro Alto e Niquelândia. Básicas e Ultrabásicas Alcalinas e Vulcanismo Associado.	DCMU	Série máfico-ultramáfica (dunito, peridotito etc.).	DCMUmu
		Série básica e ultrabásica (gabro, anortosito etc.).	DCMUbu
		Vulcânicas básicas.	DCMUvb
		Metamáficas, anfíbolitos e gnaisses calcissilicáticos.	DCMUm
DOMÍNIO DOS COMPLEXOS GRANITOIDES NÃO DEFORMADOS.	DCGR1	Associações charnockíticas. Ex.: Piroxênio granitoides etc. Minerais diagnósticos: hiperstênio, diopsídio.	DCGR1ch
		Séries graníticas peralcalinas. Ex.: Granitos alcalinos a riebeckita e arfvedsonita.	DCGR1palc
		Séries graníticas alcalinas. Ex.: Alcalifeldspato granitos, sienogranitos, monzogranitos, quartzomonzonitos, monzonitos, quartzossienitos, sienitos, quartzo-alcalissienitos, alcalissienitos etc. Alguns minerais diagnósticos: fluorita, alanita.	DCGR1alc

DESCRIÇÃO DO DOMÍNIO GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. DOMÍNIO UNIGEO	CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. UNIGEO
DOMÍNIO DOS COMPLEXOS GRANITOIDES NÃO DEFORMADOS.	DCGR1	Séries graníticas subalcalinas: calcialcalinas (baixo, médio e alto-K) e toleíticas. Ex.: Sienogranitos, monzogranitos, granodioritos, tonalitos, dioritos, quartzomonzonitos, monzonitos etc. Alguns minerais diagnósticos: hornblenda, biotita, titanita, epidoto.	DCGR1salc
		Granitoides peraluminosos. Ex.: Sienogranitos, monzogranitos, granodioritos etc. Minerais diagnósticos: muscovita, granada, cordierita, silimanita, monazita, xenotima.	DCGR1pal
		Série shoshonítica. Ex.: Gabrodiorito a quartzomonzonito etc. Minerais diagnósticos: augita, diopsídio e/ou hiperstênio, anfibólio e plagioclásio.	DCGR1sho
		Indeterminado.	DCGR1in
DOMÍNIO DOS COMPLEXOS GRANITOIDES DEFORMADOS.	DCGR2	Associações charnockíticas. Ex.: Piroxênio granitoides etc. Minerais diagnósticos: hiperstênio, diopsídio.	DCGR2ch
		Séries graníticas peralcalinas. Ex.: Granitos alcalinos a riebeckita e arfvedsonita.	DCGR2palc
		Séries graníticas alcalinas. Ex.: Alcalifeldspato granitos, sienogranitos, monzogranitos, quartzomonzonitos, monzonitos, quartzossienitos, sienitos, quartzo-alcalissienitos, alcalissienitos etc. Alguns minerais diagnósticos: fluorita, alanita.	DCGR2alc
		Séries graníticas subalcalinas: calcialcalinas (baixo, médio e alto-K) e toleíticas. Ex.: Sienogranitos, monzogranitos, granodioritos, tonalitos, quartzomonzodioritos, dioritos quartzomonzonitos, monzonitos etc. Alguns minerais diagnósticos: hornblenda, biotita, titanita, epidoto.	DCGR2salc
		Granitoides peraluminosos. Ex.: Sienogranitos, monzogranitos, granodioritos etc. Minerais diagnósticos: muscovita, granada, cordierita, silimanita, monazita, xenotima.	DCGR2pal
		Série shoshonítica. Ex.: Gabrodiorito a quartzomonzonito etc. Minerais diagnósticos: augita, diopsídio e/ou hiperstênio, anfibólio e plagioclásio.	DCGR2sho
	Indeterminado.	DCGR2in	

DESCRIÇÃO DO DOMÍNIO GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. DOMÍNIO UNIGEO	CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. UNIGEO
DOMÍNIO DOS COMPLEXOS GRANITOIDES INTENSAMENTE DEFORMADOS: ORTOGNAISSES.	DCGR3	Associações charnockíticas. Ex.: Piroxênio granitoides etc. Minerais diagnósticos: hiperstênio, diopsídio.	DCGR3ch
		Séries graníticas peralcalinas. Ex.: Granitos alcalinos a riebeckita e arfvedsonita.	DCGR3palc
		Séries graníticas alcalinas. Ex.: Alcalifeldspato granitos, sienogranitos, monzogranitos, quartzomonzonitos, monzonitos, quartzossienitos, sienitos, quartzo-alcalissienitos, alcalissienitos etc. Alguns minerais diagnósticos: fluorita, alanita.	DCGR3alc
		Séries graníticas subalcalinas: calcialcalinas (baixo, médio e alto-K) e toleíticas. Ex.: Sienogranitos, monzogranitos, granodioritos, tonalitos, dioritos, quartzomonzonitos, monzonitos etc. Alguns minerais diagnósticos: hornblenda, biotita, titanita, epidoto.	DCGR3salc
		Granitoides peraluminosos. Ex.: Sienogranitos, monzogranitos, granodioritos etc. Minerais diagnósticos: muscovita, granada, cordierita, silimanita, monazita, xenotima.	DCGR3pal
		Série Shoshonítica. Ex: Gabrodiorito a quartzomonzonito etc. Minerais diagnósticos: augita, diopsídio e/ou hiperstênio, anfibólio e plagioclásio.	DCGR3sho
		Indeterminado.	DCGR3in
DOMÍNIO DOS COMPLEXOS GNAISSE-MIGMATÍTICOS E GRANULITOS.	DCGMGL	Predominam migmatitos ortoderivados.	DCGMGLmo
		Predominam migmatitos paraderivados.	DCGMGLmp
		Predomínio de gnaisses paraderivados. Podem conter porções migmatíticas.	DCGMGLgnp
		Migmatitos indiferenciados.	DCGMGLmgi
		Gnaisse-granulito paraderivado. Podem conter porções migmatíticas.	DCGMGLglp

DESCRIÇÃO DO DOMÍNIO GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. DOMÍNIO UNIGEO	CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. UNIGEO
DOMÍNIO DOS COMPLEXOS GNAISSE-MIGMATÍTIOS E GRANULITOS.	<b>DCGMGL</b>	Gnaisses granulíticos ortoderivados. Podem conter porções migmatíticas.	<b>DCGMGLglo</b>
		Granulitos indiferenciados.	<b>DCGMGLgli</b>
		Predomínio de gnaisses ortoderivados. Podem conter porções migmatíticas.	<b>DCGMGLgno</b>
		Gnaisses indiferenciados.	<b>DCGMGLgni</b>
		Metacarbonatos.	<b>DCGMGLcar</b>
		Anfibolitos.	<b>DCGMGLaf</b>

# APÊNDICE II

## BIBLIOTECA DE RELEVO DO TERRITÓRIO BRASILEIRO

Marcelo Eduardo Dantas ([marcelo.dantas@cprm.gov.br](mailto:marcelo.dantas@cprm.gov.br))

CPRM – Serviço Geológico do Brasil



## A ANÁLISE DE PADRÕES DE RELEVO COMO UM INSTRUMENTO APLICADO AO MAPEAMENTO DA GEODIVERSIDADE

Ab'Saber, em seu artigo "Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o quaternário" [*Geomorfologia*, São Paulo, n. 18, 1969], já propunha uma análise dinâmica da Geomorfologia aplicada aos estudos ambientais, com base na pesquisa de três fatores interligados: identificação de uma **compartimentação morfológica dos terrenos**; levantamento da **estrutura superficial das paisagens** e estudo da **fisiologia da paisagem** (Figura II.1).

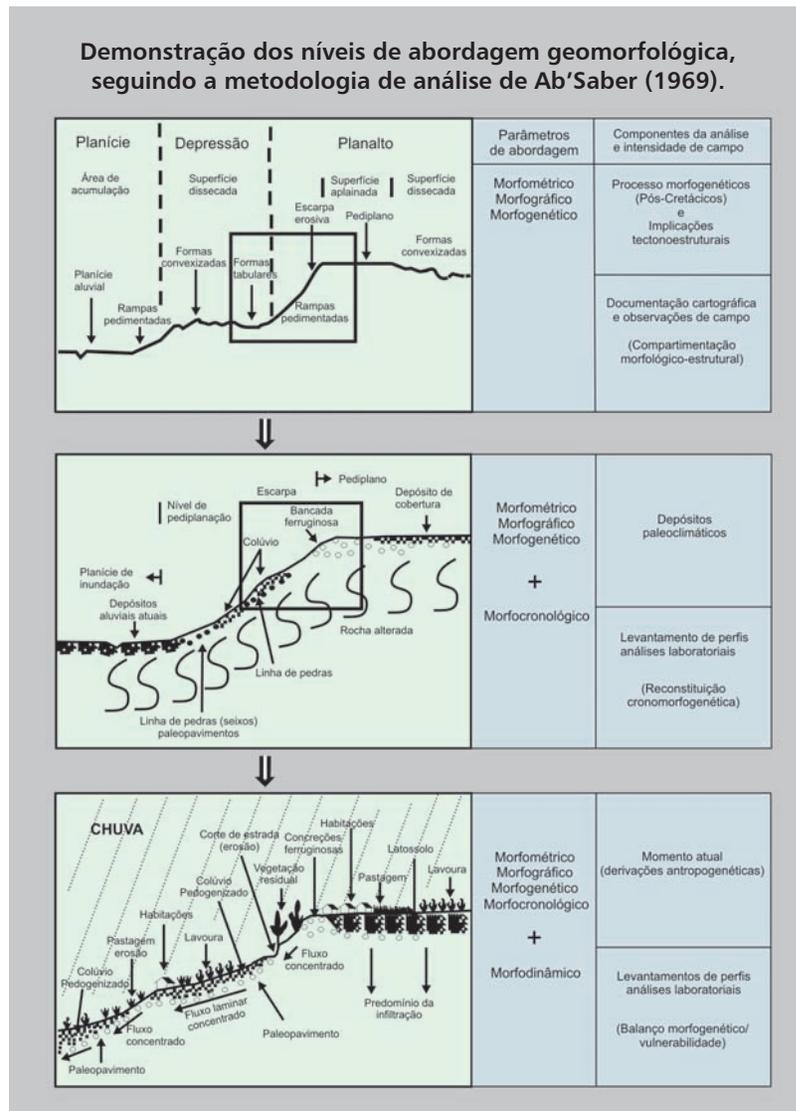
A **compartimentação morfológica dos terrenos** é obtida a partir da avaliação empírica dos diversos conjuntos de formas e padrões de relevo posicionados em diferentes níveis topográficos, por meio de observações de campo e análise de sensores remotos (fotografias aéreas, imagens de satélite e Modelo Digital de Terreno (MDT)). Essa avaliação é diretamente aplicada aos estudos de ordenamento do uso do solo e planejamento territorial,

constituindo-se em uma primeira e fundamental contribuição da Geomorfologia.

A **estrutura superficial das paisagens** consiste no estudo dos mantos de alteração *in situ* (formações superficiais autóctones) e coberturas inconsolidadas (formações superficiais alóctones) que jazem sob a superfície dos terrenos. É de grande relevância para a compreensão da gênese e evolução das formas de relevo e, em aliança com a compartimentação morfológica dos terrenos, constitui-se em importante ferramenta para se avaliar o grau de fragilidade natural dos terrenos frente aos processos erosivodepositivos.

A **fisiologia da paisagem**, por sua vez, consiste na análise integrada das diversas variáveis ambientais em sua interface com a Geomorfologia. Ou seja, a influência de condicionantes litológico-estruturais, padrões climáticos e tipos de solos na configuração física das paisagens. Com essa terceira avaliação objetiva-se, também, compreender a ação dos processos erosivodepositivos atuais, incluindo todos os impactos decorrentes da ação antropogênica sobre a paisagem natural. Dessa forma, embute-se na análise geomorfológica o estudo da morfodinâmica, privilegiando-se a análise de processos.

A Biblioteca de Padrões de Relevo do Território Brasileiro foi elaborada para atender à compartimentação geológico-geomorfológica proposta pela metodologia de mapeamento da geodiversidade do território brasileiro em escalas de análise reduzidas (1:500.000 a 1:2.500.000). Nesse sentido, sua abordagem restringe-se a avaliar o primeiro dos pressupostos elencados por Ab'Saber: a compartimentação morfológica dos terrenos. Portanto, a compartimentação de relevo efetuada nos mapeamentos de geodiversidade elaborados pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB) não representa um mapeamento geomorfológico, tendo em vista que não são considerados os aspectos de gênese, evolução e morfodinâmica. Com a Biblioteca de Padrões de Relevo do Território Brasileiro, a CPRM/SGB tem como objetivo precípuo inserir informações de relevo-paisagem-geomorfologia, em uma análise integrada do meio físico aplicada ao planejamento territorial, empreendida nos mapeamentos de geodiversidade. O mapeamento de padrões de relevo representa, em linhas gerais, o 3º táxon hierárquico da metodologia de mapeamento geomorfológico proposta por Ross (1990). Em todos os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) de Geodiversidade desenvolvidos pela CPRM/SGB, o mapa de padrões de relevo correspon-



dente pode ser visualizado, bastando acessar, na shape, o campo de atributos "COD\_REL".

**REFERÊNCIAS:**

AB'SABER, A.N. (1969). Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o Quaternário. (Geomorfologia, 18). FFCHL, USP São Paulo, 23p.  
 ROSS, J. L. S. (1990). Geomorfologia ambiente e planejamento. Ed. Contexto. São Paulo. 85p.

**I – DOMÍNIO DAS UNIDADES AGRADACIONAIS**

**R1a – Planícies Fluviais ou Fluviolacustres (planícies de inundação, baixadas inundáveis e abaciamentos)**

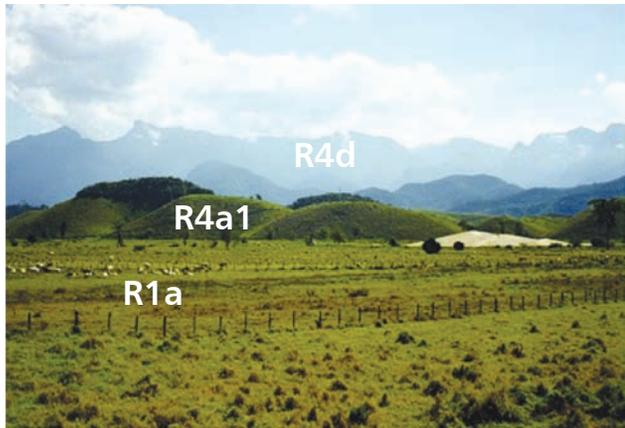
Relevo de agradação. Zona de acumulação atual.

Superfícies sub-horizontais, constituídas de depósitos arenoargilosos a argiloarenosos, apresentando gradientes extremamente suaves e convergentes em direção aos cursos d'água principais. Terrenos imperfeitamente drenados nas planícies de inundação, sendo periodicamente inundáveis; bem drenados nos terraços. Os abaciamentos (ou suaves depressões em solos arenosos) em áreas planas ou em

baixos interflúvios, denominados Áreas de Acumulação Inundáveis (Aai), frequentes na Amazônia, estão inseridos nessa unidade.

Amplitude de relevo: zero.

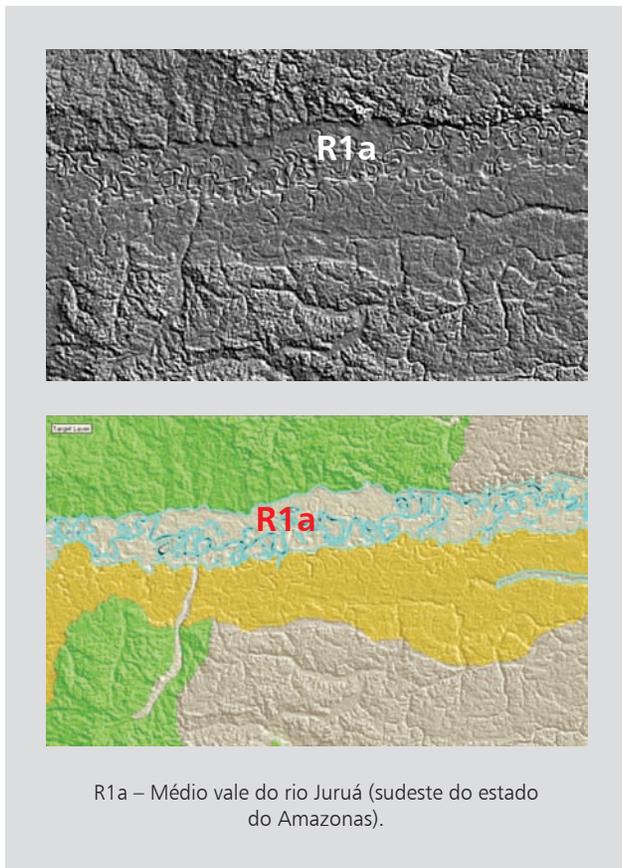
Inclinação das vertentes: 0°-3°.



R1a – Planície fluvial do alto curso do rio São João (Rio de Janeiro). Zona de Baixada Litorânea.



R1a – Planície fluvial da bacia do rio Paquequer (Rio de Janeiro). Zona montanhosa.



R1a – Médio vale do rio Juruá (sudeste do estado do Amazonas).

**R1b1 – Terraços Fluviais (paleoplanícies de inundação em fundos de vales)**

Relevo de agradação. Zona de acumulação subatual.

Superfícies bem drenadas, de relevo plano a levemente ondulado, constituído de depósitos arenosos a argilosos de origem fluvial. Consistem de paleoplanícies de inundação que se encontram em nível mais elevado que o das várzeas atuais e acima do nível das cheias sazonais. Devido à reduzida escala de mapeamento, essa unidade só pôde

ser mapeada em vales de grandes dimensões, em especial, nos rios amazônicos.

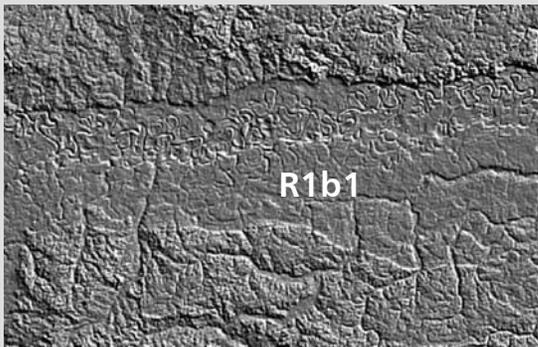
---

Amplitude de relevo: 2 a 20 m.

---

Inclinação das vertentes: 0°-3° (localmente, ressaltam-se rebordos abruptos no contato com a planície fluvial).

---



R1b1 – Médio vale do rio Juruá (sudeste do estado do Amazonas).



R1b1 – Planície e terraço fluviais do médio curso do rio Barreiro de Baixo (médio vale do rio Paraíba do Sul – SP/RJ).

### R1b2 – Terraços Lagunares (paleoplanícies de inundação no rebordo de lagunas costeiras)

Relevo de agradação. Zona de acumulação subatual.

Superfícies bem drenadas, de relevo plano a levemente ondulado constituído de depósitos arenosos a argilosos de origem lagunar. Consistem de paleoplanícies de inundação que se encontram em nível mais elevado que o das planícies lagunares ou fluviolagunares atuais e acima do nível das cheias sazonais. Essa unidade encontra-se restrita ao estado do Rio Grande do Sul, mais especificamente na borda continental da Laguna dos Patos.

---

Amplitude de relevo: 2 a 20 m.

---

Inclinação das vertentes: 0 -3  (localmente, ressaltam-se rebordos abruptos no contato com a planície lagunar).

---

### R1b3 – Terraços Marinhos (paleoplanícies marinhas   retaguarda dos atuais cordões arenosos)

Relevo de agradação. Zona de acumulação subatual.

Superfícies sub-horizontais, constituídas de depósitos arenosos, apresentando microrrelevo ondulado, geradas por processos de sedimentação marinha e/ou eólica. Terrenos bem drenados e não inundáveis.

---

Amplitude de relevo: até 20 m.

---

Inclinação das vertentes: 0 -5 .

---

### R1c – Vertentes recobertas por depósitos de encosta (leques aluviais, rampas de colúvio e de tálus)

Relevo de agradação. Zona de acumulação atual.

Os cones de tálus consistem de superfícies deposicionais fortemente inclinadas, constituídas por depósitos de encosta, de matriz arenoargilosa a argiloarenosa, rica em blocos, muito malselecionados. Ocorrem, de forma disseminada, nos sopés das vertentes íngremes de terrenos montanhosos. Apresentam baixa capacidade de suporte.

As rampas de colúvio consistem de superfícies deposicionais inclinadas, constituídas por depósitos de encosta arenoargilosos a argiloarenosos, malselecionados, em interdigitação com depósitos praticamente planos das planícies aluviais. Ocorrem, de forma disseminada, nas baixas encostas de ambientes colinosos ou de morros.

Amplitude de relevo: variável, dependendo da extensão do depósito na encosta.

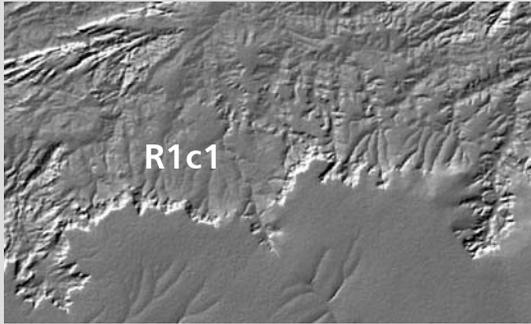
---

Inclinação das vertentes: 5°-20° (associados às rampas de colúvio).

---

Inclinação das vertentes: 20°-45° (associados aos cones de tálus).

---



R1c – Planície borda norte da Chapada do Araripe (Ceará).

## R1c2 – Leques Aluviais

Relevo de agradação. Zona de acumulação atual ou subatual.

Os leques aluviais consistem de superfícies deposicionais inclinadas, constituídas por depósitos aluvionares de enxurrada, espreados em forma de leque em uma morfologia ligeiramente convexa em planta. São depósitos malselecionados, variando entre areia fina e seixos subangulosos a subarredondados, gerados no sopé de escarpas montanhosas ou cordilheiras. Em sua porção proximal, os leques aluviais caracterizam-se por superfícies fortemente inclinadas e dissecadas por canais efêmeros que drenam a cordilheira. Em sua porção distal, os leques aluviais caracterizam-se por superfícies muito suavemente inclinadas, com deposição de sedimentos finos, em processo de coalescência com as planícies aluviais ou fluviolacustres, reproduzindo um ambiente *playa-bajada* de clima árido.

---

Amplitude de relevo: 2 a 10 m.

---

Inclinação das vertentes: 0°-3° (exceto nas porções proximais dos leques).

---

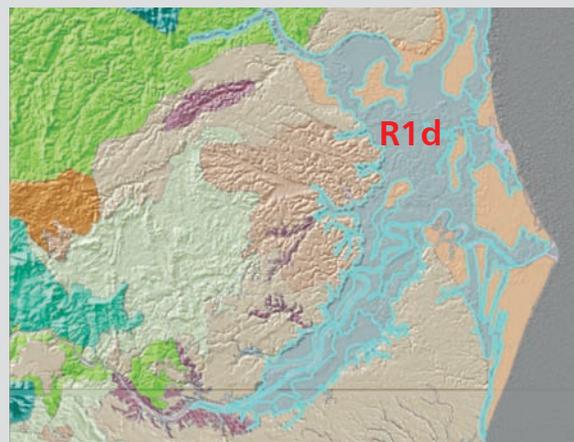
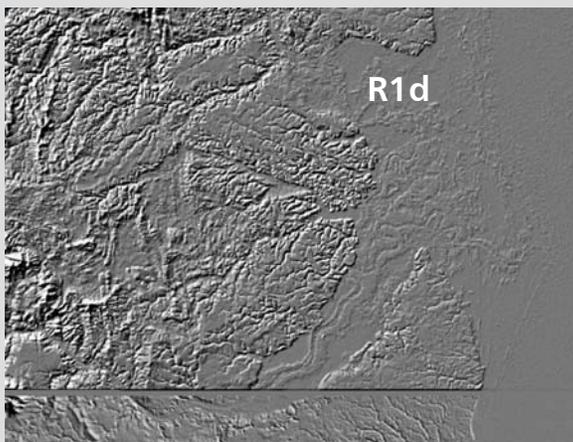
## R1d – Planícies Fluviomarinhas (mangues e brejos)

Relevo de agradação. Zona de acumulação atual.

Superfícies planas, de interface com os sistemas deposicionais continentais e marinhos, constituídas de depósitos argiloarenosos a argilosos. Terrenos muito maldrenados, prolongadamente inundáveis, com padrão de canais bastante meandantes e divagantes, sob influência de refluxo



R1c – Rampas de colúvio que se espriam a partir da borda oeste do platô sinclinal (Moeda – Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais).



R1d – Delta do rio Jequitinhonha (Bahia).



R1d – Ampla superfície embrejada de uma planície lagunar costeira (litoral norte do estado da Bahia, município de Conde).



R1d – Planície fluviomarinha do baixo curso do rio Cunhaú, originalmente ocupado por mangues e atualmente desfigurado para implantação de tanques de carcinicultura (litoral sul-oriental do estado do Rio Grande do Norte).

de marés; ou resultantes da colmatagem de paleolagunas. Baixa capacidade de suporte dos terrenos.

---

Amplitude de relevo: zero.

---

Inclinação das vertentes: plano (0°).

---

### R1e – Planícies Costeiras (terraços marinhos e cordões arenosos)

Relevo de agradação. Zona de acumulação atual.

Superfícies sub-horizontais, constituídas de depósitos arenosos, apresentando microrrelevo ondulado, geradas por processos de sedimentação marinha e/ou eólica. Terrenos bem drenados e não inundáveis.

---

Amplitude de relevo: até 20 m.

---

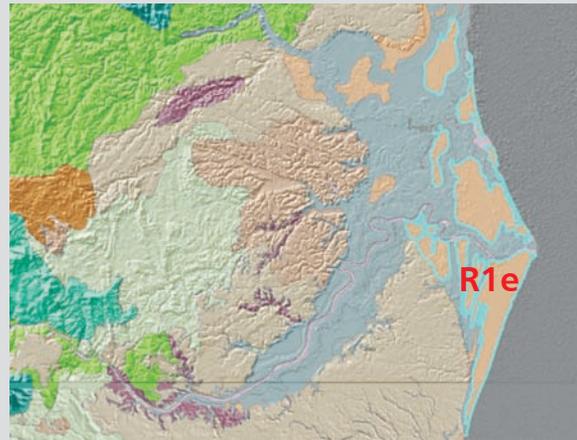
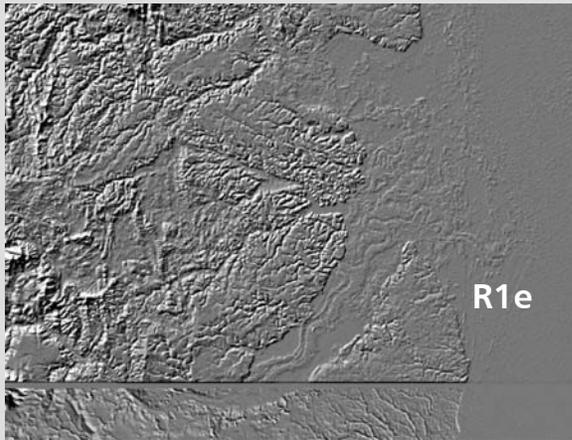
Inclinação das vertentes: 0°-5°.

---

### R1f1 – Campos de Dunas (dunas fixas; dunas móveis)

Relevo de agradação. Zona de acumulação atual ou subatual.

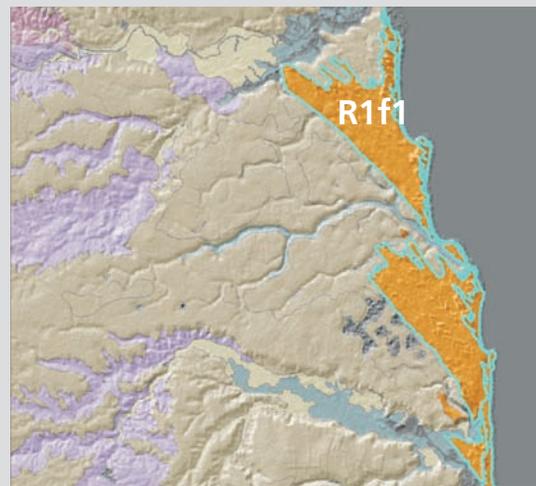
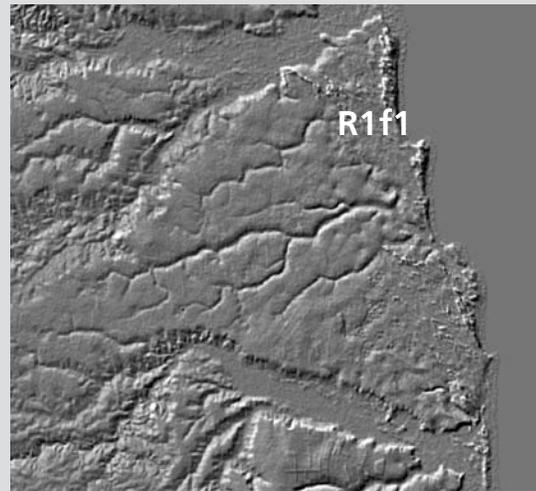
Superfícies de relevo ondulado constituído de depósitos arenoquartzosos, bem selecionados, depositados por ação eólica longitudinalmente à linha de costa. Por vezes, encontram-se desprovidos de vegetação e apresentam expressiva mobilidade (dunas móveis); ora encontram-se recobertos por vegetação pioneira (dunas fixas).



R1e – Planície do delta do rio Jequitinhonha (Bahia).



R1e – Sucessão de feixes de cordões arenosos em linha de costa progradante (Parque Nacional de Jurubatiba – Macaé, Rio de Janeiro).



R1f1 – Litoral oriental do estado do Rio Grande do Norte.



R1e – Planície costeira com empilhamento de cordões arenosos e depósitos fluviolagunares (litoral norte do estado da Bahia).



R1f1 – Campos de dunas junto à linha de costa, sobrepondo falésias do grupo Barreiras (município de Baía Formosa, litoral sul do estado do Rio Grande do Norte).



R1f1 – Campo de dunas transversais na restinga de Massambaba (Arraial do Cabo, Rio de Janeiro).

Amplitude de relevo: até 40 m.

Inclinação das vertentes: 3°-30°.

### R1f2 – Campos de Loess

Relevo de agradação. Zona de acumulação atual ou subatual.

Superfícies de relevo plano a suave ondulado constituído de depósitos silticos ou siltico-argilosos, bem sele-

cionados, constituídos de sedimentos finos em suspensão depositados por ação eólica em zonas peridesérticas ou submetidos a paleoclimas áridos ao longo de períodos glaciais pleistocênicos. Apresentam solos com alta suscetibilidade à erosão.

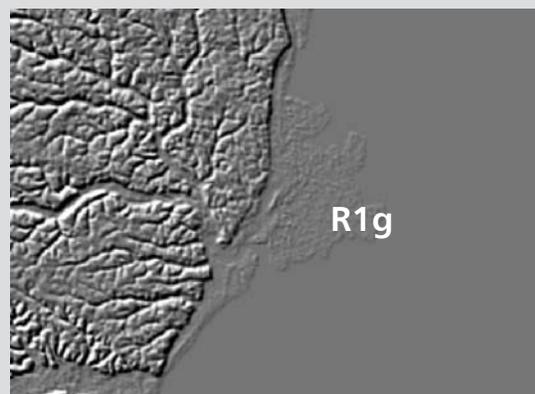
Amplitude de relevo: 0 a 20 m.

Inclinação das vertentes: 0°-5°.

### R1g – Recifes

Relevo de agradação. Zona de acumulação atual.

Os recifes situam-se na plataforma continental interna em posição de linha de arrebentação ou *off-shore*, podendo ser distinguidos dois tipos principais: RECIFES DE ARENITO DE PRAIA, que consistem de antigos cordões arenosos (*beach-rocks*), sob forma de ilhas-barreiras paralelas à linha de costa, que foram consolidados por cimentação ferruginosa e/ou carbonática; RECIFES DE BANCOS DE CORAIS, que consistem de bancos de recifes ou formações peculiares denominadas “chapeirões”, submersos ou



R1g – Santa Cruz Cabrália (sul do estado da Bahia).

parcialmente emersos durante os períodos de maré baixa. Estes são produzidos por acumulação carbonática, devido à atividade biogênica (corais).

---

Amplitude de relevo: zero.

---

Inclinação das vertentes: plano (0°).

---

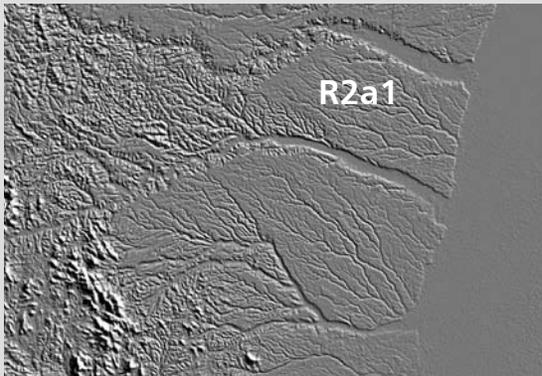
## II – DOMÍNIO DAS UNIDADES DENUDACIONAIS EM ROCHAS SEDIMENTARES POUCO LITIFICADAS

### R2a1 – Tabuleiros

Relevo de degradação em rochas sedimentares.

Formas de relevo suavemente dissecadas, com extensas superfícies de gradientes extremamente suaves, com topos planos e alongados e vertentes retilíneas nos vales encaixados em forma de “U”, resultantes de dissecação fluvial recente.

Predomínio de processos de pedogênese (formação de solos espessos e bem drenados, em geral, com baixa a mo-



R2a1 – Porto Seguro (sul do estado da Bahia).



R2a1 – Tabuleiros pouco dissecados da bacia de Macacu (Venda das Pedras, Itaboraí, Rio de Janeiro).



R2a1 – Plantação de eucaliptos em terrenos planos de tabuleiros não dissecados do grupo Barreiras (município de Esplanada, norte do estado da Bahia).

derada suscetibilidade à erosão). Ocorrências esporádicas, restritas a processos de erosão laminar ou linear acelerada (sulcos e ravinas).

---

Amplitude de relevo: 20 a 50 m.

---

Inclinação das vertentes: topo plano: 0°-3° (localmente, ressaltam-se vertentes acentuadas: 10°-25°).

---

### R2a2 – Tabuleiros Dissecados

Relevo de degradação em rochas sedimentares.

Formas de relevo tabulares, dissecadas por uma rede de canais com alta densidade de drenagem, apresentando relevo movimentado de colinas com topos tabulares ou alongados e vertentes retilíneas e declivosas nos vales encaixados, resultantes da dissecação fluvial recente.

Predomínio de processos de pedogênese (formação de solos espessos e bem drenados, em geral, com baixa a

moderada suscetibilidade à erosão). Ocorrência de processos de erosão laminar ou linear acelerada (sulcos e ravinas).

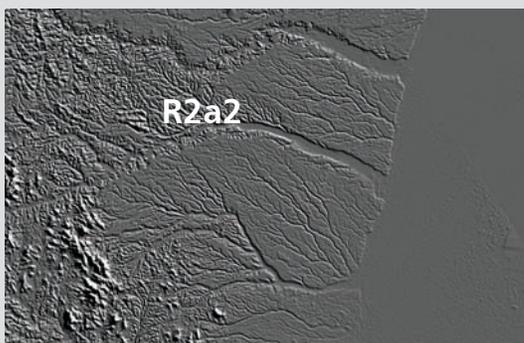
---

Amplitude de relevo: 20 a 50 m.

---

Inclinação das vertentes: topos planos restritos: 0°-3° (localmente, ressaltam-se vertentes acentuadas: 10°-25°).

---



R2a2 – Porto Seguro (sul do estado da Bahia).



R2a2 – Tabuleiros dissecados, intensamente erodidos por processos de voçorocamento junto à rodovia Linha Verde (litoral norte do estado da Bahia).



R2a2 – Tabuleiros dissecados em amplos vales em forma de “U”, em típica morfologia derivada do grupo Barreiras (bacia do rio Guaxindiba, São Francisco do Itabapoana, Rio de Janeiro).

### III – DOMÍNIO DAS UNIDADES DENUDACIONAIS EM ROCHAS SEDIMENTARES LITIFICADAS

#### R2b1 – Baixos Platôs

Relevo de degradação em rochas sedimentares.

Superfícies ligeiramente mais elevadas que os terrenos adjacentes, pouco dissecadas em formas tabulares. Sistema de drenagem principal com fraco entalhamento.

Predomínio de processos de pedogênese (formação de solos espessos e bem drenados, em geral, com baixa a moderada suscetibilidade à erosão). Eventual atuação de processos de laterização. Caracterizam-se por superfícies planas de modestas altitudes em antigas bacias sedimentares, como os patamares mais baixos da Bacia do Parnaíba (Piauí) ou a Chapada do Apodi, na Bacia Potiguar (Rio Grande do Norte).

---

Amplitude de relevo: 0 a 20 m.

---

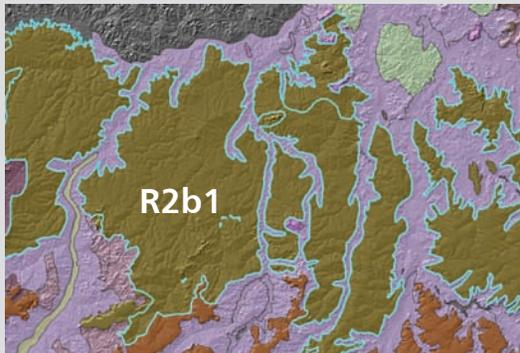
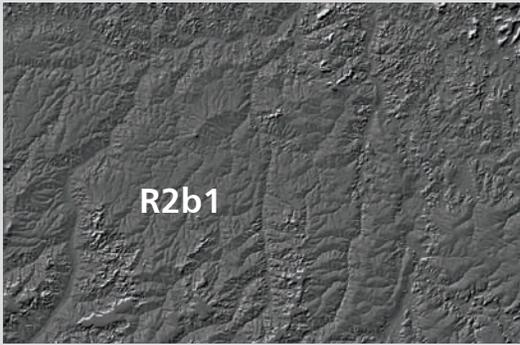
Inclinação das vertentes: topo plano a suavemente ondulado: 2°-5°.

---

#### R2b2 – Baixos Platôs Dissecados

Relevo de degradação em rochas sedimentares.

Superfícies ligeiramente mais elevadas que os terrenos adjacentes, francamente dissecadas em forma de colinas tabulares. Sistema de drenagem constituído por uma rede de canais com alta densidade de drenagem, que gera um relevo dissecado em vertentes retilíneas e



R2b1 – Centro-sul do estado do Piauí.



R2b1 – Baixos platôs não dissecados da bacia do Parnaíba (estrada Floriano-Picos, próximo a Oeiras, Piauí).

declivosas nos vales encaixados, resultantes da dissecação fluvial recente. Deposição de planícies aluviais restritas em vales fechados.

Equilíbrio entre processos de pedogênese e morfogênese (formação de solos espessos e bem drenados, com moderada suscetibilidade à erosão). Eventual atuação de processos de laterização. Ocorrências esporádicas, restritas a processos de erosão laminar ou linear acelerada (ravinas e

voçorocas). Situação típica encontrada nos baixos platôs embasados pela Formação Alter do Chão, ao norte de Manaus.

Amplitude de relevo: 20 a 50 m.

Inclinação das vertentes: topo plano a suavemente ondulado: 2°-5°, excetuando-se os eixos dos vales fluviais, onde se registram vertentes com declividades mais acentuadas (10°-25°).



R2b2 – Interflúvio entre os rios Uatumã e Nhamundá (nordeste do estado do Amazonas).



R2b2 – Baixos platôs dissecados em forma de colinas tabulares sobre arenitos imaturos da formação Alter do Chão (Presidente Figueiredo, Amazonas).

### R2b3 – Planaltos

Relevo de degradação predominantemente em rochas sedimentares, mas também sobre rochas cristalinas.

Superfícies mais elevadas que os terrenos adjacentes, pouco dissecadas em formas tabulares ou colinas muito amplas. Sistema de drenagem principal com fraco entalhamento e deposição de planícies aluviais restritas ou em vales fechados.

Predomínio de processos de pedogênese (formação de solos espessos e bem drenados, em geral, com baixa a moderada suscetibilidade à erosão). Eventual atuação de processos de laterização. Ocorrências esporádicas, restritas a processos de erosão laminar ou linear acelerada (ravinas e voçorocas).

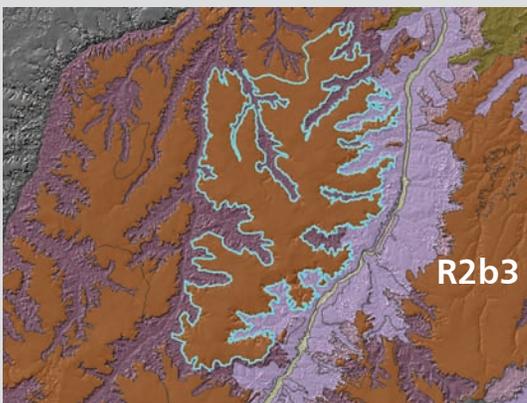
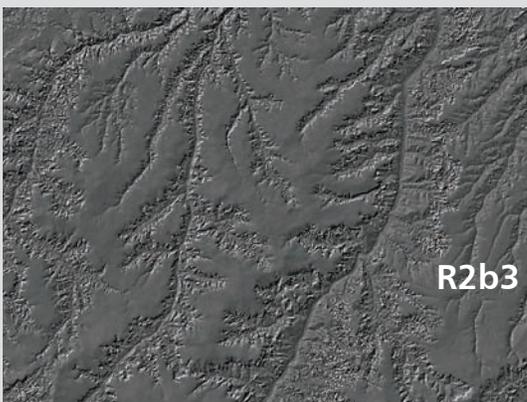
---

Amplitude de relevo: 20 a 50 m.

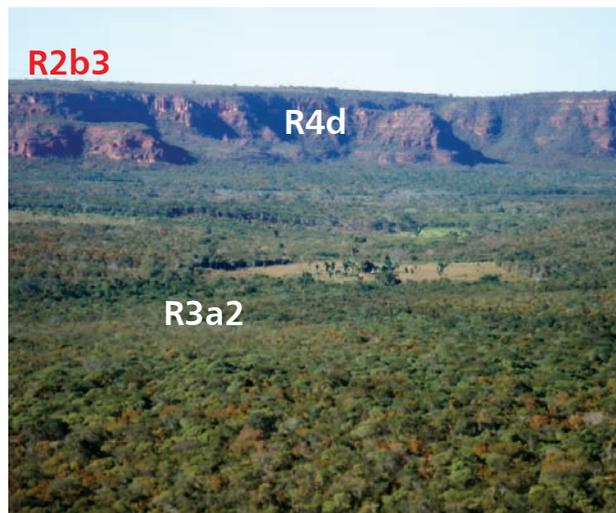
---

Inclinação das vertentes: topo plano a suavemente ondulado: 2°-5°, excetuando-se os eixos dos vales fluviais.

---



R2b3 – Planalto de Uruçuí (sul do estado do Piauí).



R2b3 – Escarpa erosiva do planalto de Uruçuí (bacia do Parnaíba, sudoeste do estado do Piauí).



R2b3 – Topo do planalto da serra dos Martins, sustentado por cornijas de arenitos ferruginosos da formação homônima (sudoeste do estado do Rio Grande do Norte).

### R2c – Chapadas e Platôs

Relevo de degradação em rochas sedimentares.

Superfícies tabulares alçadas, ou relevos soerguidos, planos ou aplainados, não ou incipientemente pouco dissecados. Os rebordos dessas superfícies, posicionados em cotas elevadas, são delimitados, em geral, por vertentes íngremes a escarpadas. Representam algumas das principais ocorrências das superfícies cimeiras do território brasileiro.

Franco predomínio de processos de pedogênese (formação de solos espessos e bem drenados, em geral, com baixa a moderada suscetibilidade à erosão).

Processos de morfogênese significativos nos rebordos das escarpas erosivas, via recuo lateral das vertentes. Freqüente atuação de processos de laterização. Ocorrências

esporádicas, restritas a processos de erosão laminar ou linear acelerada (ravinas e voçorocas).

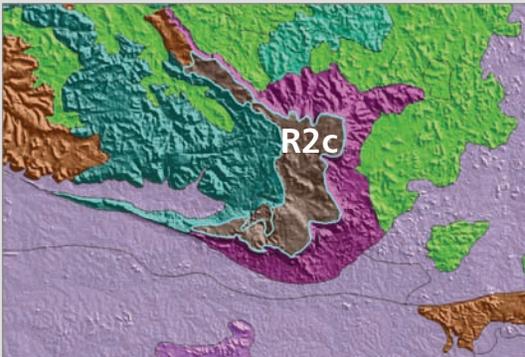
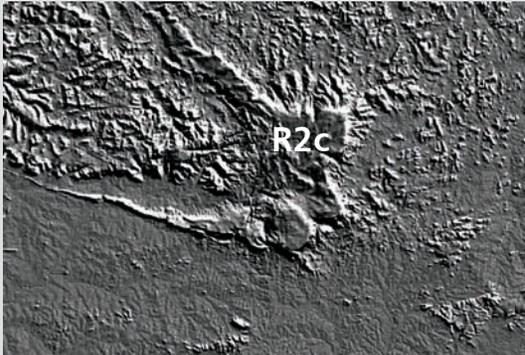
---

Amplitude de relevo: 0 a 20 m.

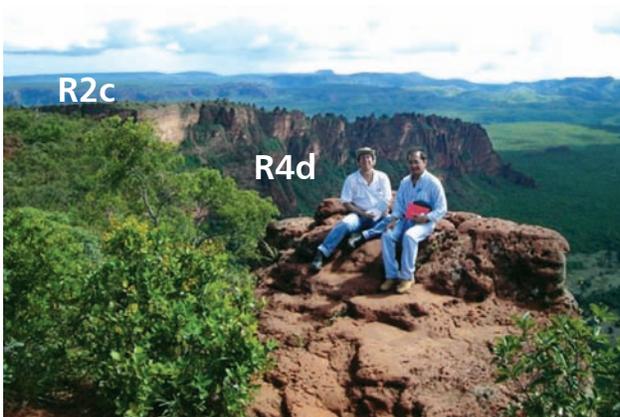
---

Inclinação das vertentes: topo plano, excetuando-se os eixos dos vales fluviais.

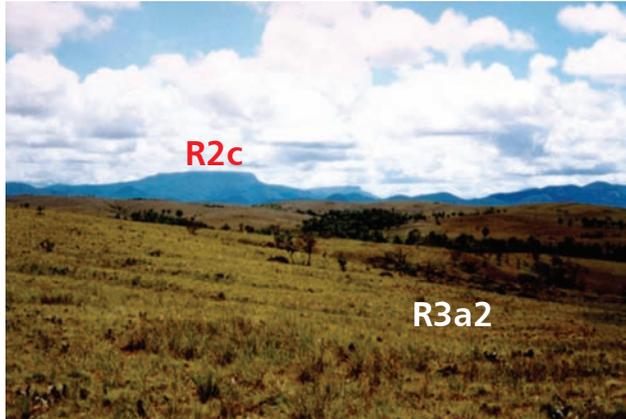
---



R2c – Borda Leste da Chapada dos Pacaás Novos (região central do estado de Rondônia).



R2c – Topo da Chapada dos Guimarães e relevo ruiforme junto a seu escarpamento.



R2c – “Tepuy” isolado da “serra” do Tepequém, uma forma em chapada sustentada por arenitos conglomeráticos do supergrupo Roraima.

#### IV – DOMÍNIO DOS RELEVOS DE APLAINAMENTO

##### R3a1 – Superfícies Aplainadas Conservadas

Relevo de aplainamento.

Superfícies planas a levemente onduladas, promovidas pelo arrasamento geral dos terrenos, representando, em linhas gerais, grandes extensões das depressões interplânálticas do território brasileiro.

---

Amplitude de relevo: 0 a 10 m.

---

Inclinação das vertentes: 0°-5°.

---

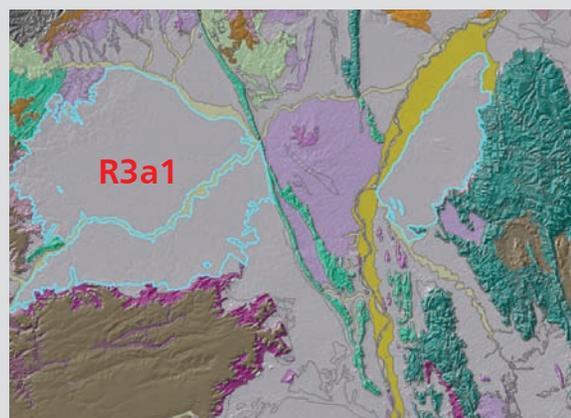
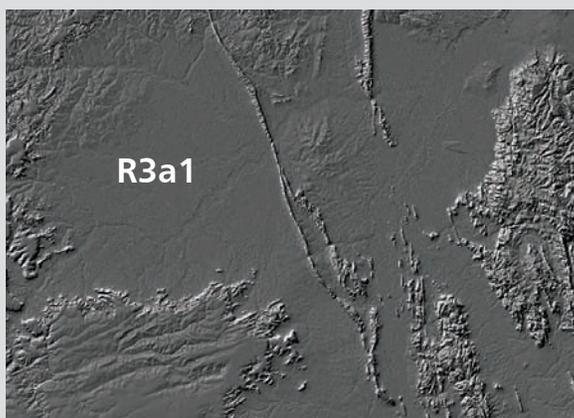
No bioma da floresta amazônica: franco predomínio de processos de pedogênese (formação de solos espessos e bem drenados, em geral, com baixa suscetibilidade à erosão). Eventual atuação de processos de laterização.

Nos biomas de cerrado e caatinga: equilíbrio entre processos de pedogênese e morfogênese (a despeito das baixas declividades, prevalece o desenvolvimento de solos rasos e pedregosos e os processos de erosão laminar são significativos).

##### R3a2 – Superfícies Aplainadas Retocadas ou Degradadas

Relevo de aplainamento.

Superfícies suavemente onduladas, promovidas pelo arrasamento geral dos terrenos e posterior retomada erosiva proporcionada pela incisão suave de uma rede de drenagem incipiente. Inserem-se, também, no contexto das grandes depressões interplânálticas do território brasileiro.



R3a1 – Médio vale do rio São Francisco (estado da Bahia).

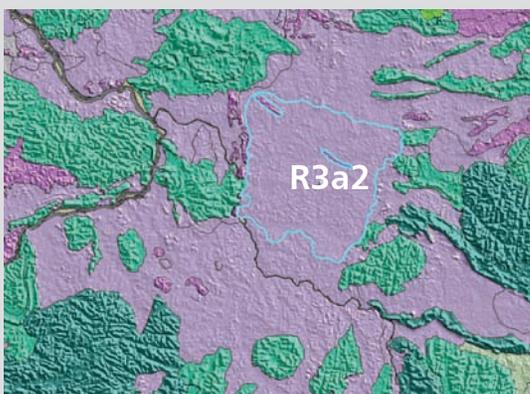
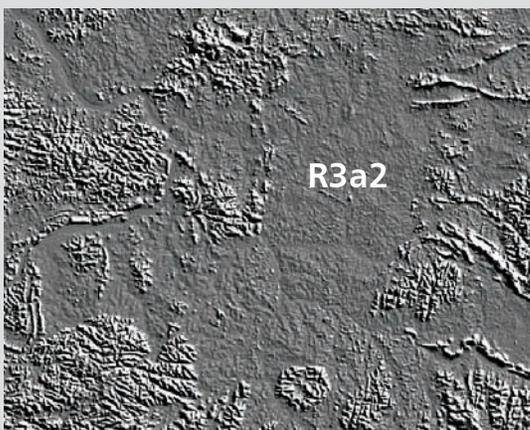
Amplitude de relevo: 10 a 30 m.

Inclinação das vertentes: 0°-5°.



R3a1 – Extensa superfície aplainada, delimitada por esparsas cristas de quartzitos (Canudos, norte do estado da Bahia).

Caracteriza-se por extenso e monótono relevo suave ondulado sem, contudo, caracterizar ambiente colinoso, devido a suas amplitudes de relevo muito baixas e longas rampas de muito baixa declividade.



R3a2 – Médio vale do rio Xingu (estado do Pará).



R3a2 – Extensa superfície aplainada da depressão sertaneja (sudeste do estado do Rio Grande do Norte).

**R3b – *Inselbergs* e outros relevos residuais (cristas isoladas, morros residuais, pontões, monolitos)**

Relevo de aplainamento.

Relevos residuais isolados destacados na paisagem aplainada, remanescentes do arrasamento geral dos terrenos.

---

Amplitude de relevo: 50 a 500 m.

---

Inclinação das vertentes: 25°-45°, com ocorrência de paredões rochosos subverticais (60°-90°).

---



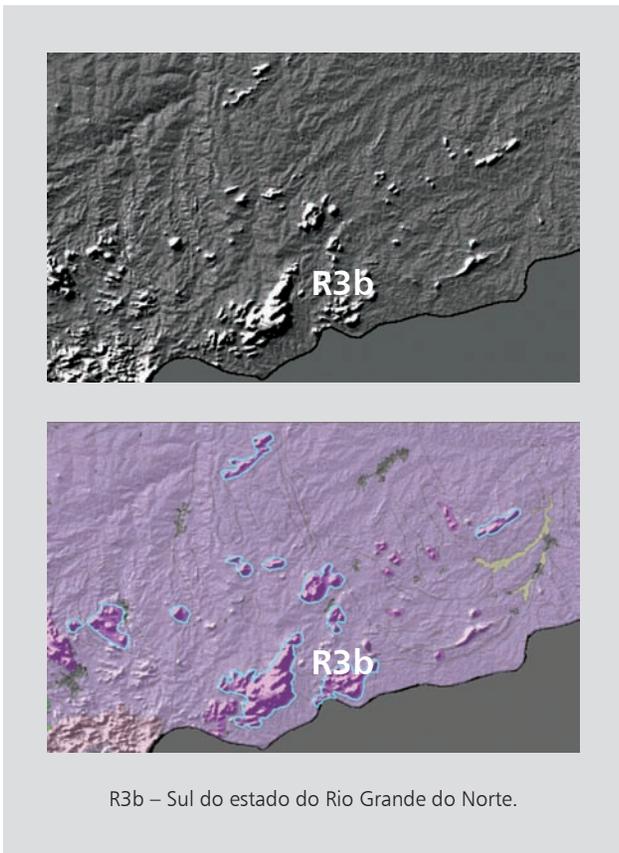
R3b – Neck vulcânico do pico do Cabugi (estado do Rio Grande do Norte).

**V – DOMÍNIO DAS UNIDADES DENUDACIONAIS EM ROCHAS CRISTALINAS OU SEDIMENTARES**

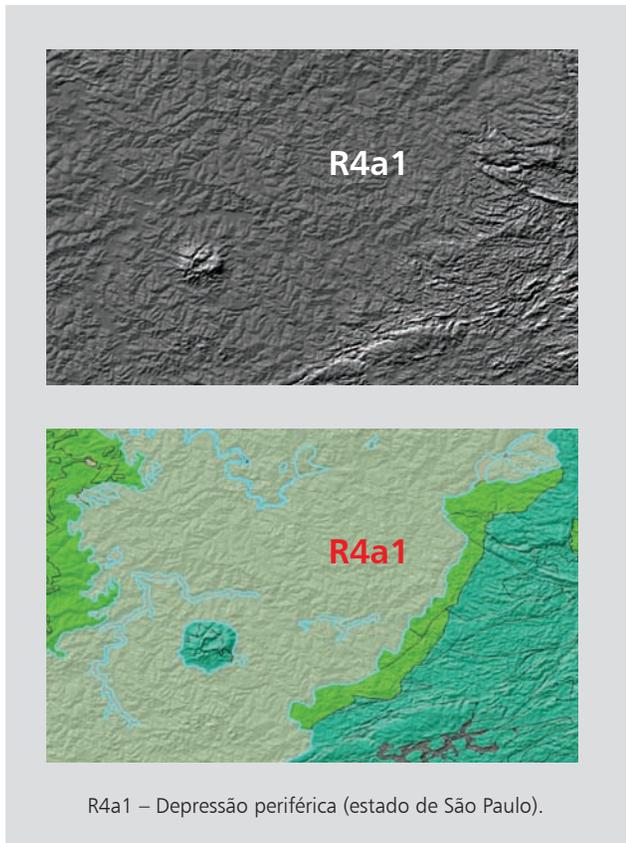
**R4a1 – Domínio de Colinas Amplas e Suaves**

Relevo de degradação em qualquer litologia, predominando rochas sedimentares.

Relevo de colinas pouco dissecadas, com vertentes convexas e topos amplos, de morfologia tabular ou alongada. Sistema de drenagem principal com deposição de planícies aluviais relativamente amplas.



R3b – Sul do estado do Rio Grande do Norte.



R4a1 – Depressão periférica (estado de São Paulo).



R3b – Agrupamentos de *inselbergs* alinhados em cristas de rochas quartzíticas delineadas em zona de cisalhamento (estrada Senhor do Bonfim-Juazeiro, estado da Bahia).



R4a1 – Colinas amplas e suaves modeladas sobre granulitos (cercanias de Anápolis, Goiás).



R4a1 – Relevo suave colinoso (município de Araruama, região dos Lagos, Rio de Janeiro).

Predomínio de processos de pedogênese (formação de solos espessos e bem drenados, em geral, com baixa a moderada suscetibilidade à erosão). Ocorrências esporádicas, restritas a processos de erosão laminar ou linear acelerada (ravinas e voçorocas). Geração de rampas de colúvios nas baixas vertentes.

---

Amplitude de relevo: 20 a 50 m.

---

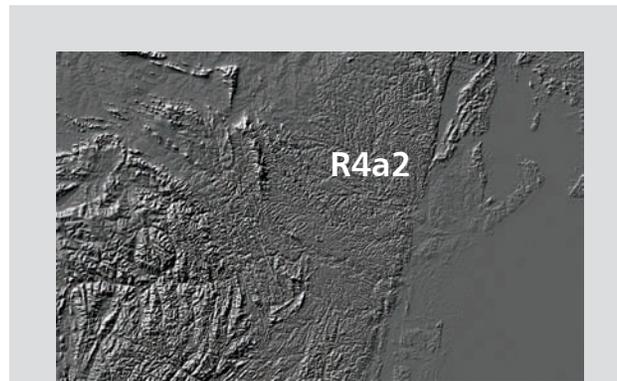
Inclinação das vertentes: 3°-10°.

---

### R4a2 – Domínio de Colinas Dissecadas e de Morros Baixos

Relevo de degradação em qualquer litologia.

Relevo de colinas dissecadas, com vertentes convexo-côncavas e topos arredondados ou aguçados. Sistema de drenagem principal com deposição de planícies aluviais restritas ou em vales fechados.



R4a2 – Leste do estado da Bahia.



R4a2 – Típico relevo de mar-de-morros no médio vale do rio Paraíba do Sul (topo da serra da Concórdia, Valença, Rio de Janeiro).



R4a2 – Colinas e morros intensamente dissecados sobre metassiltitos (município de Padre Bernardo, Goiás).

Equilíbrio entre processos de pedogênese e morfogênese (formação de solos espessos e bem drenados, em geral, com moderada suscetibilidade à erosão). Atuação frequente de processos de erosão laminar e ocorrência esporádica de processos de erosão linear acelerada (sulcos, ravinas e voçorocas). Geração de rampas de colúvios nas baixas vertentes.

---

Amplitude de relevo: 30 a 80 m.

---

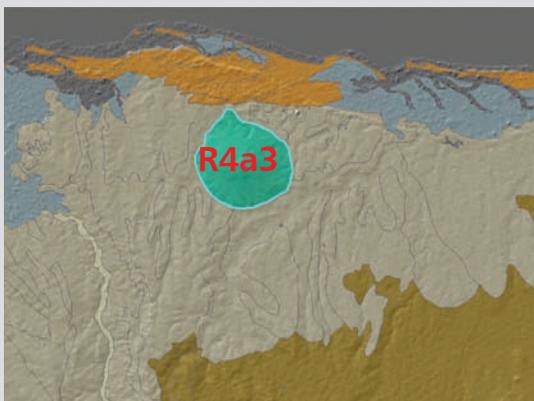
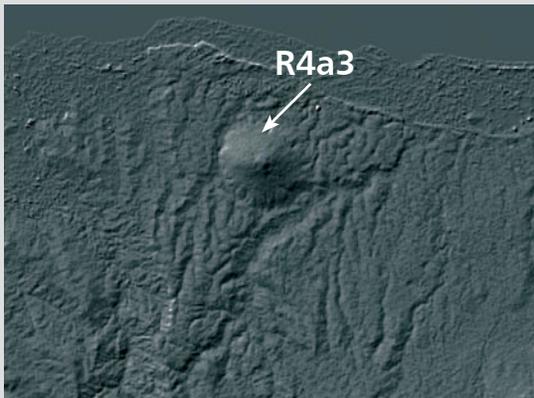
Inclinação das vertentes: 5°-20°.

---

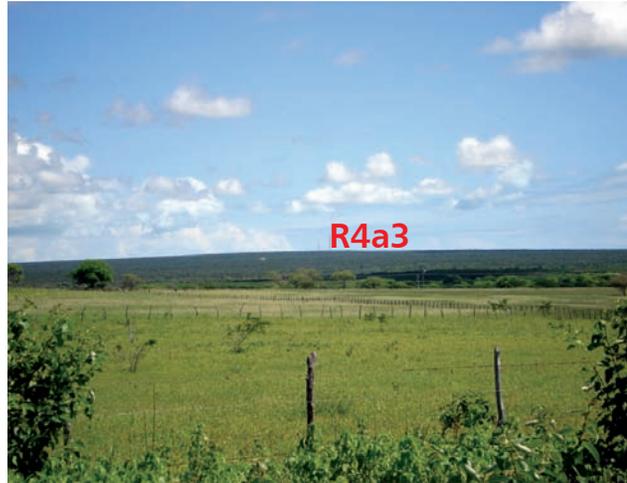
### R4a3 – Domos em estrutura elevada

#### Relevo de degradação em qualquer litologia.

Relevo de amplas e suaves elevações em forma de meia esfera, com modelado de extensas vertentes convexas e topos planos a levemente arredondados. Em geral, essa morfologia deriva de rochas intrusivas que arqueiam a superfície do terreno, podendo gerar estruturas dobradas do tipo braquianticlinais. Apresenta padrão de drenagem radial



R4a3 – Domo de Guimarães (estado do Rio Grande do Norte).



R4a3 – Domo de Guimarães, arqueando as rochas sedimentares da bacia Potiguar (estado do Rio Grande do Norte).

e centrífugo. Sistema de drenagem principal em processo inicial de entalhamento, sem deposição de planícies aluviais.

Predomínio de processos de pedogênese (formação de solos espessos e bem drenados, em geral, com baixa a moderada suscetibilidade à erosão). Ocorrências esporádicas, restritas a processos de erosão laminar ou linear acelerada (ravinas e voçorocas).

---

Amplitude de relevo: 50 a 200 m.

---

Inclinação das vertentes: 3°-10°.

---

### R4b – Domínio de Morros e de Serras Baixas

#### Relevo de degradação em qualquer litologia.

Relevo de morros convexo-côncavos dissecados e topos arredondados ou aguçados. Também se insere nessa unidade o relevo de morros de topo tabular, característico das chapadas intensamente dissecadas e desfeitas em conjunto de morros de topo plano. Sistema de drenagem principal com restritas planícies aluviais.

Predomínio de processos de morfogênese (formação de solos pouco espessos em terrenos declivosos, em geral, com moderada a alta suscetibilidade à erosão). Atuação frequente de processos de erosão laminar e linear acelerada (sulcos e ravinas) e ocorrência esporádica de processos de movimentos de massa. Geração de colúvios e, subordinadamente, depósitos de tálus nas baixas vertentes.

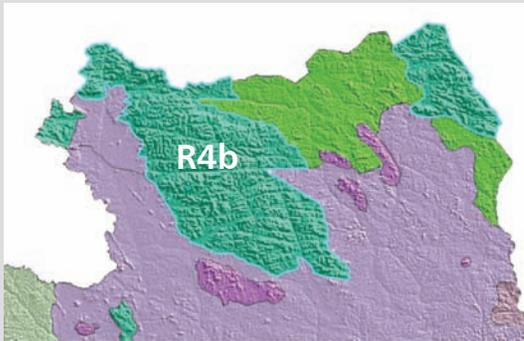
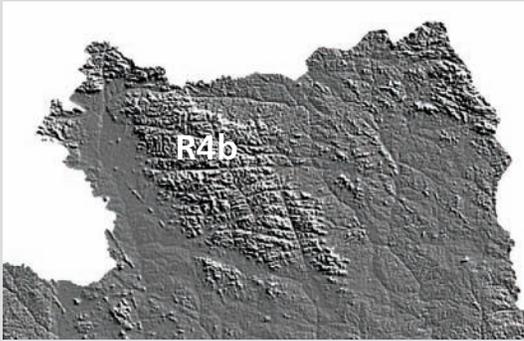
---

Amplitude de relevo: 80 a 200 m, podendo apresentar desnivelamentos de até 300 m.

---

Inclinação das vertentes: 15°-35°.

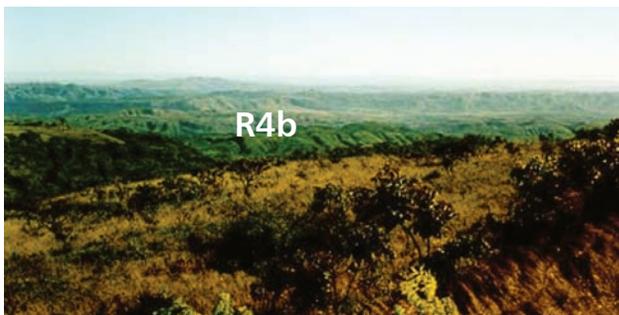
---



R4b – Serra do Tumucumaque (norte do estado do Pará).



R4b – Relevo de morros elevados no planalto da região serrana do estado do Rio de Janeiro.



R4b – Relevo fortemente dissecado em morros sulcados e alinhados a norte do planalto do Distrito Federal.

**R4c – Domínio Montanhoso (alinhamentos serranos, maciços montanhosos, *front* de *cuestas* e *hogback*)**

Relevo de degradação em qualquer litologia.

Relevo montanhoso, muito acidentado. Vertentes predominantemente retilíneas a côncavas, escarpadas e topos de cristas alinhadas, aguçados ou levemente arredondados, com sedimentação de colúvios e depósitos de tálus. Sistema de drenagem principal em franco processo de entalhamento.

Franco predomínio de processos de morfogênese (formação de solos rasos em terrenos muito acidentados, em geral, com alta suscetibilidade à erosão). Atuação frequente de processos de erosão laminar e de movimentos de massa. Geração de depósitos de tálus e de colúvios nas baixas vertentes.

---

Amplitude de relevo: acima de 300 m, podendo apresentar, localmente, desnivelamentos inferiores a 200 m.

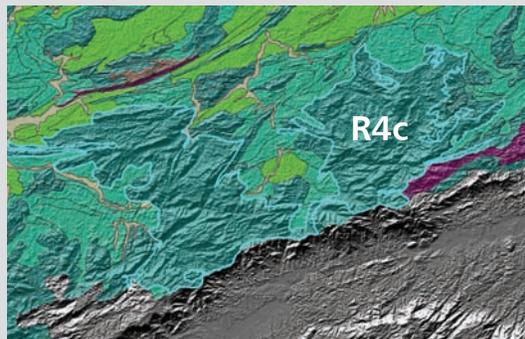
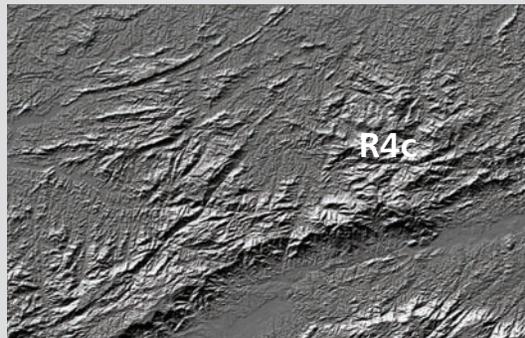
---



---

Inclinação das vertentes: 25°-45°, com ocorrência de paredões rochosos subverticais (60°-90°).

---



R4c – Sul do estado de Minas Gerais.



R4c – Relevo montanhoso do maciço do Caraça, modelado em quartzitos (Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais).



R4c – Vale estrutural do rio Araras; reverso da serra do Mar (Petrópolis, Rio de Janeiro).

### R4d – Escarpas Serranas

Relevo de degradação em qualquer litologia.

Relevo montanhoso, muito acidentado. Vertentes predominantemente retilíneas a côncavas, escarpadas e topos de cristas alinhadas, aguçados ou levemente arredondados, com sedimentação de colúvios e depósitos de tálus. Sistema de drenagem principal em franco processo de entalhamento. Representam um relevo de transição entre duas superfícies distintas alçadas a diferentes cotas altimétricas.

Franco predomínio de processos de morfogênese (formação de solos rasos em terrenos muito acidentados, em geral, com alta suscetibilidade à erosão). Atuação frequente de processos de erosão laminar e de movimentos de massa. Geração de depósitos de tálus e de colúvios nas baixas vertentes.

---

Amplitude de relevo: acima de 300 m.

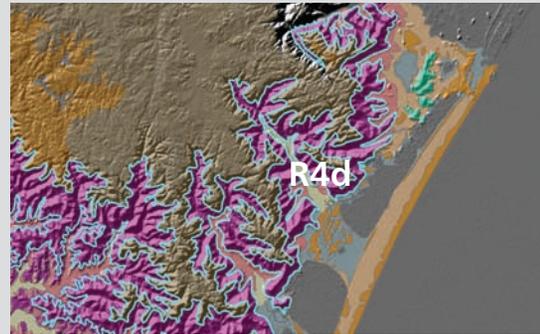
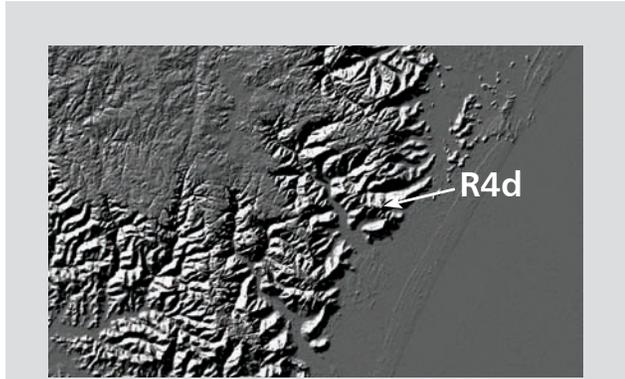
---



---

Inclinação das vertentes: 25°-45°, com ocorrência de paredões rochosos subverticais (60°-90°).

---



R4d – Escarpa da serra Geral (nordeste do estado do Rio Grande do Sul).



R4d – Aspecto imponente da serra Geral, francamente entalhada por uma densa rede de drenagem, gerando uma escarpa festonada com mais de 1.000 m de desnivelamento.



R4d – Escarpa da serra de Miguel Inácio, cuja dissecação está controlada por rochas metassedimentares do grupo Paranoá (cercanias do Distrito Federal).

### R4e – Degraus Estruturais e Rebordos Erosivos

Relevo de degradação em qualquer litologia.

Relevo acidentado, constituído por vertentes predominantemente retilíneas a côncavas, declivosas e topos levemente arredondados, com sedimentação de colúvios e depósitos de tálus. Sistema de drenagem principal em franco processo de entalhamento. Representam relevo de transição entre duas superfícies distintas alçadas a diferentes cotas altimétricas.

Franco predomínio de processos de morfogênese (formação de solos rasos, em geral, com alta suscetibilidade à erosão). Atuação frequente de processos de erosão laminar e de movimentos de massa. Geração de depósitos de tálus e de colúvios nas baixas vertentes.

---

Amplitude de relevo: 50 a 200 m.

---

Inclinação das vertentes: 10°-25°, com ocorrência de vertentes muito declivosas (acima de 45°).

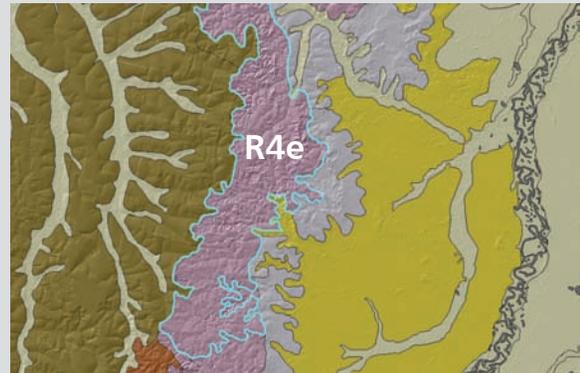
---

### R4f – Vales Encaixados

Relevo de degradação predominantemente em rochas sedimentares, mas também sobre rochas cristalinas.

Relevo acidentado, constituído por vertentes predominantemente retilíneas a côncavas, fortemente sulcadas, declivosas, com sedimentação de colúvios e depósitos de tálus. Sistema de drenagem principal em franco processo de entalhamento. Consistem em feições de relevo fortemente entalhadas pela incisão vertical da drenagem, formando vales encaixados e incisos sobre planaltos e chapadas, estes, em geral, pouco dissecados. Assim como as escarpas e os rebordos erosivos, os vales encaixados apresentam quebras de relevo abruptas em contraste com o relevo plano adjacente. Em geral, essas formas de relevo indicam uma retomada erosiva recente em processo de reajuste ao nível de base regional.

Franco predomínio de processos de morfogênese (formação de solos rasos, em geral, com alta suscetibilidade à erosão). Atuação frequente de processos de erosão laminar e de movimentos de massa. Geração de depósitos de tálus e de colúvios nas baixas vertentes.



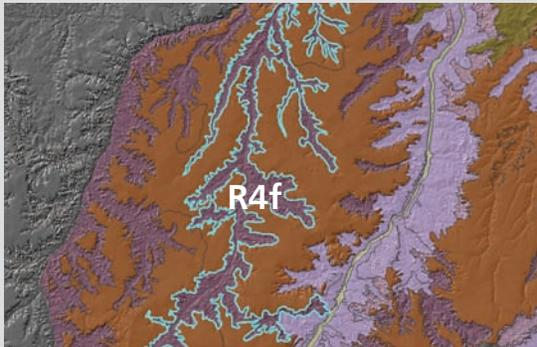
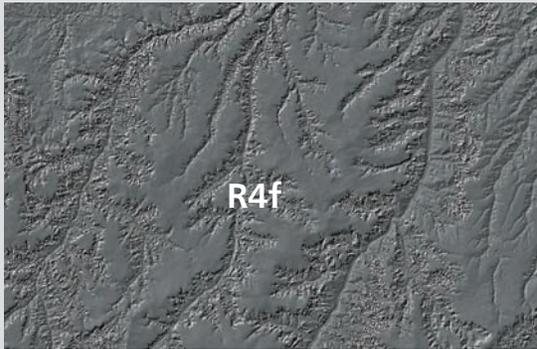
R4e – Degrau escarpado da serra do Roncador (leste do estado de Mato Grosso).



R4e – Degrau estrutural do flanco oeste do planalto de morro do Chapéu (Chapada Diamantina, Bahia).



R4e – Degrau estrutural no contato da bacia do Parnaíba com o embasamento cristalino no sul do Piauí.



R4f – Planalto de Uruçuí e vale do Gurgueia (sul do estado do Piauí).

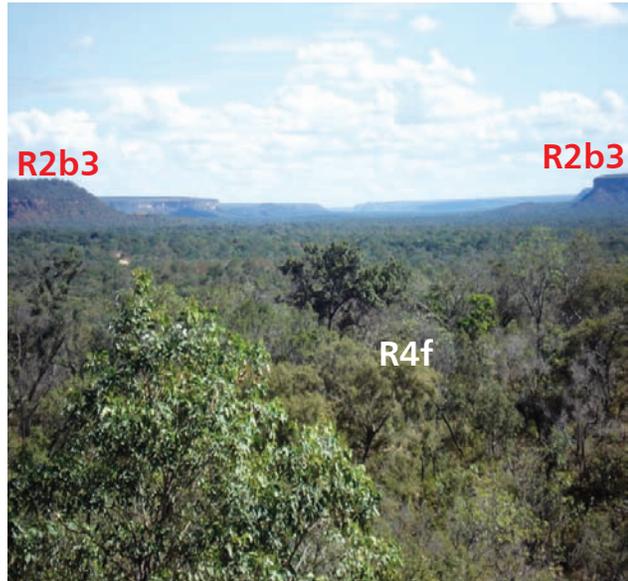
---

Amplitude de relevo: 100 a 300 m.

---

Inclinação das vertentes: 10°-25°, com ocorrência de vertentes muito declivosas (acima de 45°).

---



R4f – Vale amplo e encaixado de tributário do rio Gurgueia no planalto de Uruçuí (sudeste do estado do Piauí).

# **NOTA SOBRE OS AUTORES**

**ANTENOR FARIA DE MURICY FILHO** – Geólogo (1964) formado pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Ingressou na Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobras) em 1965, onde permaneceu até 1983. Nessa empresa se aperfeiçoou por meio de inúmeros cursos, principalmente na área de interpretação de perfis e análise de bacias. Exerceu os cargos de chefe de seção, de setor, de divisão e superintendência interina, além do exercício da Gerência de Exploração das Sucursais da Petrobras Internacional (Braspetro) do Egito e da Líbia (1976-1979). Em 1985 reingressou, como contratado, na Braspetro, onde exerceu a Gerência de Exploração das Sucursais do Yemen do Sul e da Colômbia (1985-1992). Ingressou na Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) em dezembro de 2005, onde exerceu a função de Assessor de Superintendência (2007-2008) e a Superintendência Adjunta de Definição de Blocos (em 2009). Atualmente, é superintendente interino desse órgão.

**ANTÔNIO THEODOROVICZ** – Geólogo (1977) formado pela Universidade Federal do Paraná (UFPR), com especialização (1990) em Geologia Ambiental (CPRM/SGB). Ingressou na Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB) – Superintendência Regional de Porto Velho (SUREG/PV) em 1978. Desde 1982 atua na Superintendência Regional de São Paulo (SUREG/SP). Executou e chefou vários projetos de Mapeamento Geológico, Prospecção Mineral e Metalogenia em diversas escalas nas regiões Amazônica, Sul e Sudeste. Desde 1990 atua como supervisor/executor de vários estudos geoambientais, para os quais concebeu uma metodologia, adaptada e aplicada na geração dos mapas Geodiversidade do Programa SIG – Geologia Ambiental. Ministra treinamentos de campo para caracterização do meio físico para fins de planejamento e gestão ambiental, para equipes da CPRM/SGB e de países da América do Sul. Atualmente, também é coordenador regional do Projeto Geoparques da CPRM/SGB, Conselheiro da Comissão de Monumentos Geológicos do Estado de São Paulo e Membro do Conselho Gestor do Geopark Estadual Bodoquena-Pantanal.

**BERNARDO FARIA ALMEIDA** – Graduado (2003) em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), mestre (2005) em Engenharia de Produção (Logística) pela COPPE/UFRJ. Atua na ANP, como Analista Administrativo, na Superintendência de Definição de Blocos desde 2005, nos estudos de Geologia e Geofísica para as Rodadas de Licitações de Blocos Exploratórios realizadas pela ANP, e no acompanhamento dos contratos realizados por essa superintendência de acordo com o Plano Plurianual de Estudos de Geologia e Geofísica.

**CINTIA ITOKAZU COUTINHO** – Engenheira civil formada pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) e mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Servidora da ANP desde 2004.

**KÁTIA DA SILVA DUARTE** – Geóloga (1989) formado pela Universidade de Brasília (UnB), mestre (1992) e doutora (2003) em Geotecnia pelo Departamento de Tecnologia da UnB. Servidora da ANP desde 2002, atualmente é Superintendente Adjunta. Experiência na área de Geociências, com ênfase em Geotecnia, Geologia Ambiental e Geologia de Petróleo.

**LUCIENE PEDROSA** – Oceanógrafa formada pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Servidora da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) desde 2006.

**LUIZ MOACYR DE CARVALHO** – Geólogo (1968) formado pela Universidade Federal da Bahia (UFBA) e especialização em Metalogenia do Ouro pela Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP). Como geólogo do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), participou nos trabalhos da Divisão de Fomento à Produção Mineral e de Fiscalização de Projetos de Financiamento à Pesquisa Mineral no Território Federal de Rondônia no período de 01 de junho de 1969 a 31 de dezembro de 1970. Geólogo da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB) desde 1971, ocupando o cargo de Coordenador de Recursos Minerais da então Superintendência de Porto Velho (RO). Participou do mapeamento geológico dos projetos Noroeste e Sudeste de Rondônia entre 1972-1978 e atuou como geólogo de prospecção mineral na Divisão de Pesquisa Mineral da Superintendência Regional de Salvador no período 1979-2003. Atualmente, é Supervisor do GATE, setor do Departamento de Geologia e Gestão Territorial (DEGET). Áreas de interesse: pesquisa mineral, metalogenia e patrimônio geológico – geoconservação.

**MARCELO EDUARDO DANTAS** – Graduado (1992) em Geografia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), com os títulos de licenciado em Geografia e Geógrafo. Mestre (1995) em Geomorfologia e Geoecologia pela UFRJ. Nesse período, integrou a equipe de pesquisadores do Laboratório de Geo-Hidroecologia (GEOHECO/UFRJ), tendo atuado na investigação de temas como: Controles Litoestruturais na Evolução do Relevo; Sedimentação Fluvial; Impacto das Atividades Humanas sobre as Paisagens Naturais no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul. Em 1997, ingressou na CPRM/SGB, atuando como geomorfólogo até o presente. Desenvolveu atividades profissionais em projetos na área de Geomorfologia, Diagnósticos Geoambientais e Mapeamentos da Geodiversidade, em atuação integrada com a equipe de geólogos do Programa GATE/CPRM. Dentre os trabalhos mais relevantes, destacam-se: Mapa Geomorfológico e Diagnóstico Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro; Mapa Geomorfológico do ZEE RIDE Brasília; Estudo Geomorfológico Aplicado à Recomposição Ambiental da Bacia Carbonífera de Criciúma; Análise da Morfodinâmica Fluvial Aplicada ao Estudo de Implantação das UHEs de Santo Antônio e Jirau (Rio Madeira-Rondônia). Atua, desde 2002, como professor-assistente do curso de Geografia/UNISUAM. Atualmente, é coordenador nacional de Geomorfologia do Projeto Geodiversidade do Brasil (CPRM/SGB). Membro efetivo da União da Geomorfologia Brasileira (UGB) desde 2007.

**MARCOS CRISTÓVÃO BAPTISTA** – Graduado em Geologia (2002) pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e mestre (2004) em Geologia Regional pela mesma universidade. Atuou nas áreas de gestão de águas subterrâneas no Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), monitoramento de áreas de risco geológico na prefeitura de Belo Horizonte (URBEL) e como consultor na área de paleontologia, ministrando cursos e palestras. Atua, desde 2007, na CPRM/SGB, junto à Gerência de Geologia e Recursos Minerais (GEREMI) na SUREG-BH, em projetos de mapeamento geológico.

**MARIA ADELAIDE MANSINI MAIA** – Geóloga (1996) formada pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), com especialização em Geoprocessamento pela Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Atuou de 1997 a 2009 na Superintendência Regional de Manaus da CPRM/SGB, nos projetos de Gestão Territorial e Geoprocessamento, destacando-se o Mapa da Geodiversidade do Estado do Amazonas e os Zoneamentos Ecológico-Econômicos (ZEEs) do Vale do Rio Madeira, do estado de Roraima, do Distrito Agropecuário da Zona Franca de Manaus. Atualmente, está lotada no Escritório Rio de Janeiro da CPRM/SGB, desenvolvendo atividades ligadas aos projetos de Gestão Territorial dessa instituição, notadamente o Programa de Levantamento da Geodiversidade.

**MARIA ANGÉLICA BARRETO RAMOS** – Graduada (1989) em geologia pela Universidade de Brasília (UnB) e mestre (1993) em Geociências pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Ingressou na CPRM/SGB em 1994, onde atuou em mapeamento geológico no Projeto Aracaju ao

Milionésimo. Em 1999, no Departamento de Gestão Territorial (DEGET), participou dos projetos Acajutiba-Aporá-Rio Real e Porto Seguro-Santa Cruz Cabralia. Em 2001, na Divisão de Avaliação de Recursos Minerais integrou a equipe de coordenação do Projeto GIS do Brasil e de Banco de Dados da CPRM/SGB. A partir de 2006, passou a atuar na coordenação de geoprocessamento do Projeto Geodiversidade do Brasil no DEGET. Ministra cursos e treinamentos em ferramentas de SIG aplicados a projetos da CPRM/SGB. É autora de 32 trabalhos individuais e coautora nos livros "Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil" e "Geodiversidade do Brasil", dentre outros (12). Foi presidenta da Associação Baiana de Geólogos no período de 2005-2007 e vice-presidenta de 2008 a 2009.

**MARCELY FERREIRA MACHADO** – Graduada (2002) em Geologia pela Universidade Federal da Bahia (UFBA), especialista (2007) em Engenharia de Segurança, Meio Ambiente e Saúde (SMS) pelo Programa de Mobilização da Indústria Nacional de Petróleo e Gás Natural (PROMINP), oferecido pela Petrobras em conjunto com a UFBA. Atuou (2006 a 2008) em Geoprocessamento e Cartografia Digital junto à SEI (Superintendência de Recursos Econômicos e Sociais da Bahia). Atua desde 2009 na CPRM/SGB, junto ao Departamento de Gestão Territorial (DEGET), em projetos de Geologia Aplicada.

**PEDRO AUGUSTO DOS SANTOS PFALTZGRAFF** – Geólogo (1984) formado pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), mestre (1994) em Geologia de Engenharia e Geologia Ambiental pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e doutor (2007) em Geologia Ambiental pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Trabalhou, entre 1984 e 1988, em obras de barragens e projetos de sondagem geotécnica na empresa Enge Rio – Engenharia e Consultoria S.A. e como geólogo autônomo entre os anos de 1985-1994. Trabalha na CPRM/SGB desde 1994, onde atua em diversos projetos de Geologia Ambiental.

**SANDRA FERNANDES DA SILVA** – Graduada (1998) em Geologia pela Universidade Federal do Pará (UFPA), mestre (2000) em Geotecnia (Avaliação de Alterações Ambientais em Bacia Hidrográfica) pela Escola de Engenharia de São Carlos/Universidade de São Paulo (EESC/USP) e doutora (2005) em Geotecnia (Zoneamento Geoambiental com Uso de Lógica Fuzzy e Geoindicador) pela mesma universidade. Atuou como professora contratada de Geologia (graduação e pós-graduação) de 2004 a 2006, junto à Universidade de Brasília (UnB), como geóloga plena na execução de projetos geotécnicos voltados para mineração e hidroenergia de 2006 a 2008, junto à BVP Engenharia e atua, desde 2008, na CPRM/SGB, junto ao Departamento de Gestão Territorial (DEGET), em projetos de Geologia e Geotecnia Aplicada.

**VALTER JOSÉ MARQUES** – Geólogo (1966) formado pela UFRGS, especialização em Petrologia (1979) pela USP e em Engenharia do Meio Ambiente (1991) pela UFRJ. Nos primeiros 25 anos de carreira, dedicou-se ao ensino universitário, na UnB, e ao mapeamento geológico na CPRM/SGB, entremendo um período em empresas privadas (Mineração Morro Agudo e Camargo Correa), onde atuou em prospecção mineral em todo o território nacional. Desde 1979, quando retornou à CPRM/SGB, exerceu diversas funções e ocupou diversos cargos, dentre os quais o de Chefe do Departamento de Geologia da CPRM/SGB e o de Superintendente de Recursos Minerais. Nos últimos 18 anos, vem se dedicando à gestão territorial, com destaque para o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE), sobretudo na Amazônia e nas faixas de fronteira com os países vizinhos, atuando como coordenador técnico de diversos projetos binacionais. Nos últimos 10 anos, vem desenvolvendo estudos quanto à avaliação da Geodiversidade para o desenvolvimento regional utilizando técnicas de cenários prospectivos.

**VITÓRIO ORLANDI FILHO** – Geólogo (1967) pela UFRGS, especialização em Sensoriamento Remoto e Fotointerpretação no Panamá e Estados Unidos. De 1970 a 2007, exerceu suas atividades junto à CPRM/SGB, onde desenvolveu projetos ligados a Mapeamento Geológico Regional, Prospecção Mineral e Gestão Territorial. Em 2006, participou da elaboração do Mapa Geodiversidade do Brasil (CPRM/SGB).

# GEODIVERSIDADE DO ESTADO DE MINAS GERAIS

PROGRAMA GEOLOGIA DO BRASIL  
LEVANTAMENTOS DA GEODIVERSIDADE

Geodiversidade do Estado de Minas Gerais é um produto concebido para oferecer aos diversos segmentos da sociedade mineira uma tradução do atual conhecimento geocientífico da região, com vistas ao planejamento, aplicação, gestão e uso adequado do território. Destina-se a um público alvo muito variado, incluindo desde as empresas de mineração, passando pela comunidade acadêmica, gestores públicos estaduais e municipais, sociedade civil e ONGs.

Dotado de uma linguagem voltada para múltiplos usuários, o mapa compartimenta o território mineiro em unidades geológico-ambientais, destacando suas limitações e potencialidades frente à agricultura, obras civis, utilização dos recursos hídricos, fontes poluidoras, potencial mineral e geoturístico.

Nesse sentido, com foco em fatores estratégicos para a região, são destacadas Áreas de Relevante Interesse Mineral – ARIM, Potenciais Hidrogeológico e Geoturístico, Riscos Geológicos aos Futuros Empreendimentos, dentre outros temas do meio físico, representando rico acervo de dados e informações atualizadas e constituindo valioso subsídio para a tomada de decisão sobre o uso racional e sustentável do território nacional.

Geodiversidade é o estudo do meio físico constituído por ambientes diversos e rochas variadas que, submetidos a fenômenos naturais e processos geológicos, dão origem às paisagens, ao relevo, outras rochas e minerais, águas, fósseis, solos, clima e outros depósitos superficiais que propiciam o desenvolvimento da vida na Terra, tendo como valores intrínsecos a cultura, o estético, o econômico, o científico, o educativo e o turístico, parâmetros necessários à preservação responsável e ao desenvolvimento sustentável.

ISBN 978-85-7499-091-0



#### SEDE

SGAN – Quadra 603 • Conj. J • Parte A – 1º andar  
Brasília – DF • 70830-030  
Fone: 61 3326-9500 • 61 3322-4305  
Fax: 61 3225-3985

#### Escritório Rio de Janeiro – ERJ

Av. Pasteur, 404 – Urca  
Rio de Janeiro – RJ • 22290-040  
Fone: 21 2295-5337 • 21 2295-5382  
Fax: 21 2542-3647

#### Presidência

Fone: 21 2295-5337 • 61 3322-5838  
Fax: 21 2542-3647 • 61 3225-3985

#### Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial

Fone: 21 2295-8248 • Fax: 21 2295-5804

#### Departamento de Gestão Territorial

Fone: 21 2295-6147 • Fax: 21 2295-8094

#### Diretoria de Relações Institucionais e Desenvolvimento

Fone: 21 2295-5837 • 61 3223-1166/1059  
Fax: 21 2295-5947 • 61 3323-6600

#### Superintendência Regional de Belo Horizonte

Av. Brasil, 1731 – Bairro Funcionários  
Belo Horizonte – MG • 30140-002  
Fone: 31 3878-0307 • Fax: 31 3878-0383

#### Assessoria de Comunicação

Fone: 21 2546-0215 • Fax: 21 2542-3647

#### Divisão de Marketing e Divulgação

Fone: 31 3878-0372 • Fax: 31 3878-0382  
marketing@bh.cprm.gov.br

#### Ouvidoria

Fone: 21 2295-4697 • Fax: 21 2295-0495  
ouvidoria@rj.cprm.gov.br

#### Serviço de Atendimento ao Usuário – SEUS

Fone: 21 2295-5997 • Fax: 21 2295-5897  
seus@rj.cprm.gov.br

[www.cprm.gov.br](http://www.cprm.gov.br)  
2010

**PAC** PROGRAMA DE ACELERAÇÃO DO CRESCIMENTO